

الجامعة التكنولوجية

قسم هندسة الإنتاج والمعادن

# النحاس وسبائكه

انتاجه وبنيته وتطبيقاته

الأستاذ المتمرس الدكتور

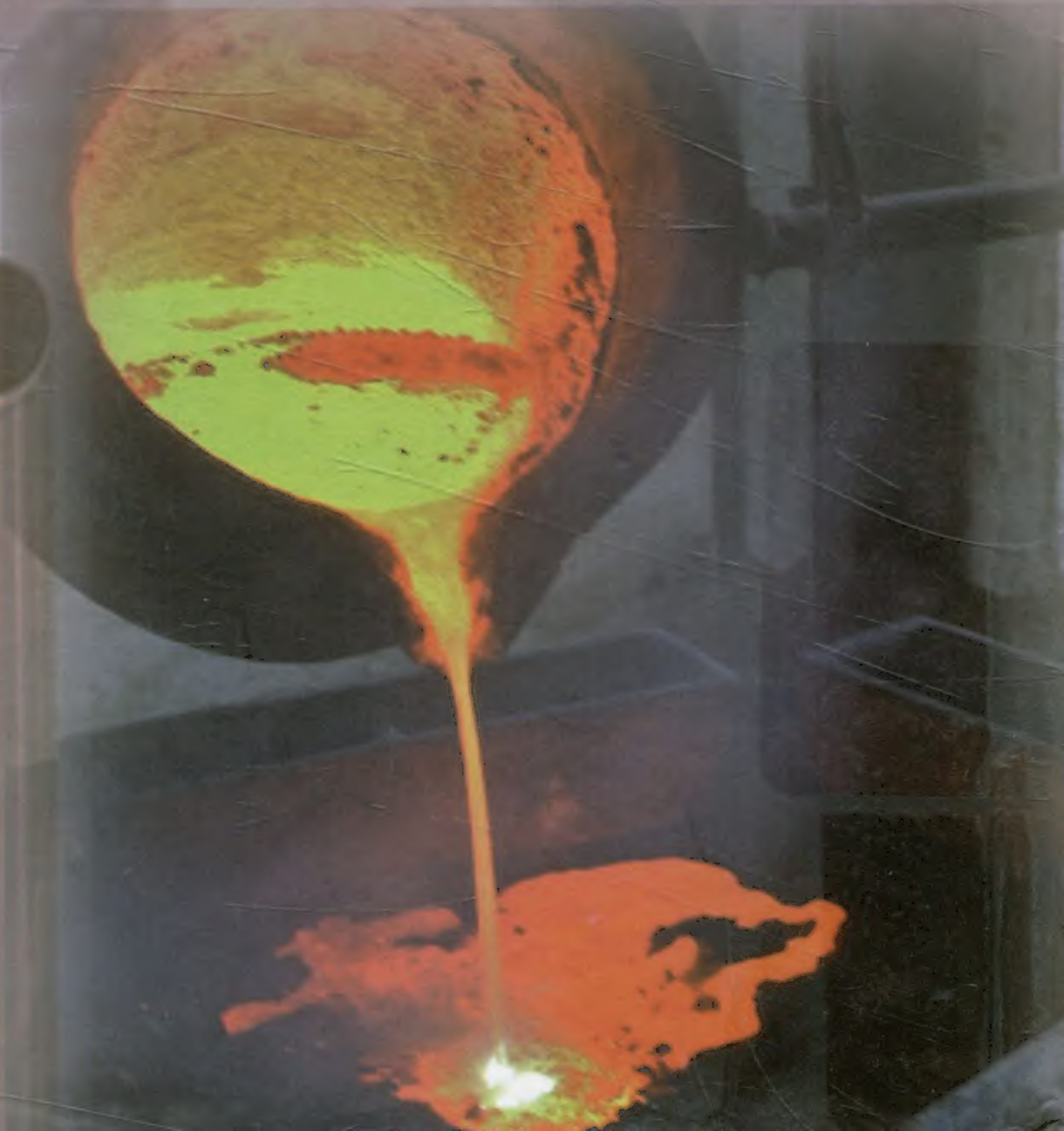
جعفر الحيدري

المهندس

محمد علي ذياب

المهندس

عماد الدين ابراهيم













بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

النحاس وسبائكه  
انتاجه وبنيته وتطبيقاته





# **النجاس وسبائكه**

## **أنتاجه وبنيته وتطبيقاته**

**الأستاذ المتمرس الدكتور جعفر الحيدري**  
**المهندس عماد الدين ابراهيم المهندس محمد علي ذياب**

قسم هندسة الانتاج و المعادن  
الجامعة التكنولوجية  
بغداد - العراق

الطبعة الأولى  
2013 م - 1434 هـ





## شكر وتقدير

وكتاب النحاس وسبائكته، انتاجه وبنيته وتطبيقاته، على وشك الطباعة لا يسعنا إلا ان نتقدم بخالص شكرنا وتقديرنا الى كل من ساعد في اخراج هذا الكتاب على هذا النحو. ونخص بالذكر الاخ الاعز الدكتور عماد سعدي الحسيني - التدريسي في قسم هندسة المواد - الجامعة التكنولوجية- بغداد- العراق. وكذلك السيد المهندس مصطفى الحيدري سائلين الله ان يحفظهما من كل مكروه وان يجعلهما نبراسا و عوناً لرواد العلم والمعرفة وان يوفقهما لما فيه الخير والصلاح انه على كل شيء قدير.

المؤلفون





## الإهداء

الى كل الوطنيين الاحرار الذين نذروا انفسهم لأنقاذ هذا الوطن الحبيب...

الى كل من عمل ما امكنه او قال كلمة لخلاص هذا الوطن الجريح

العراق...

نهدي مجهودنا هذا

والله من وراء القصد

المؤلفون





## الفهرس

المقدمة ..... 21

مدخل الى النحاس وسبائكه ..... 23

### الفصل الاول

#### مصادر النحاس وتوفره

تواجد النحاس عالميا ..... 27

احتياطات النحاس العالميه ووفره النحاس ..... 28

النحاس في الوطن العربي ..... 38

مصادر النحاس ..... 39

استخلاص النحاس ..... 42

التنقية الحرارية للنحاس ..... 46

التنقية الكهربائيه ..... 47

انواع النحاس حسب طريقة التنقية ..... 52

الشوائب وتأثيراتها في النحاس ..... 53

### الفصل الثاني

#### سبائك النحاس

المقدمة ..... 63

تصنيف سبائك النحاس ..... 65

انواع سبائك النحاس ..... 71

بنية البراص الثنائي ..... 75

سبائك البراص الرصاصي ..... 77

سبائك البراص الالمنيومي ..... 84

سبائك البراص القصديري ..... 84

البرونزيات	84
برونز القصدير	86
برونز الألمنيوم	89
برونزيات البريليوم	92
سبائك النحاس نيكل	94
تأثير العناصر المضافة على خواص سبائك النحاس	96

### الفصل الثالث

#### الصهر والسباكة

المقدمة	113
الصهر	114
الافران الحثية الحلقية منخفضة التردد	114
الافران ذات التسخين المباشر	115
السباكة	116
السباكة الثابتة	116
السباكة شبه المستمرة	116
السباكة المستمرة	117
مزايا السباكة المستمرة ومساوئها	123

### الفصل الرابع

#### البثق والسحب

البثق	127
البثق الهيدروستاتي	127
البثق الصدمي	130
البثق العكسي (غير المباشر)	131
البثق المباشر	132

133	العوامل المؤثرة في عملية البثق المباشر
134	ظروف المعدن قبل البثق
134	ظروف عملية البثق
136	حساب قوة البثق
139	المقارنة بين البثق المباشر وغير المباشر
140	السحب
143	تصنيع واستخدام انابيب النحاس وسبائكه
146	عمليات السحب البارد للانابيب
150	تكنولوجيا سحب الانابيب
153	عدد وقوالب السحب
153	انواع الانابيب
155	عمليات الانهاء (التشطيب)
155	التقويم (التعديل)
156	التقطيع
156	المعاملات الحرارية الاخيرة
156	استخدامات انابيب النحاس وسبائكه
156	انابيب نقل الماء
157	انابيب المكثفات والمبادلات الحرارية
159	خطوط الانابيب في مياه البحر والغواصات
159	الاسلاك النحاسية
160	طرائق تصنيع الاسلاك النحاسية
160	الدرفلة
160	السيابة المستمرة
162	سحب الاسلاك



## الفصل الخامس

### الدرفلة

المقدمة .....	165
الدرفلة الحارة .....	166
تسخين المسبوكة .....	168
تكنولوجيا التسخين .....	170
انواع عمليات ومكائن الدرفلة .....	171
عمليات الدرفلة على اساس شكل المنتج .....	171
عمليات الدرفلة حسب نوع وشكل العدة المستخدمة .....	172
عمليات الدرفلة على اساس عدد المدرفلات .....	172
تهيئة المعدن لعملية الدرفلة الباردة .....	182
الدرفلة الباردة .....	182
تكنولوجيا درفلة النحاس وسبائكه .....	189
تأثير عمليات الدرفلة على الخواص الميكانيكية للمعدن .....	193

## الفصل السادس

### التخريم والسحب العميق

المقدمة .....	197
التخريم .....	197
تأثير الخلوص بين القالب واداة التخريم .....	199
تأثير سرعة التخريم (القطع) .....	202
طرائق التخريم .....	204
التخريم بدون خلوص .....	204
التخريم بالخلوص السالب .....	204
التخريم باستخدام الضغط المعاكس .....	204

205	التخريم بطريقة القطع العكسي
207	السحب العميق
208	انواع الماسكات المستخدمة
208	عملية السحب العميق
208	عملية السحب بدون استخدام ماسكات
209	السحب باستخدام ماسكات
209	القوة اللازمة في عمليات السحب العميق
288	المعدن المراد تشكيله
212	معامل السحب
212	سُمك المعدن
213	قطر حافة القالب
213	سرعة السحب
213	معامل الاحتكاك
213	الخلوص
213	ضغط الماسكات

### الفصل السابع

#### المعالجات ( المعاملات ) الحرارية للنحاس وسبائكه

217	المقدمة
217	التصليد الانفعالي
217	التصليد بتصغير المقاس الحبيبي
217	التصليد بالمحلول الجامد
218	التصليد بالترسيب
219	اهداف المعالجة الحرارية
219	المجانسة

219	التلدين
220	ازالة الاجهادات
220	التصليد بالترسيب
220	التصليد التحويلي
221	التصليد بالتحلل المغزلي
221	التصليد المجهرى المزدوج
221	المجانسة
221	التلدين والتلدين
227	السبائك المستقرة المقاس الحبيبي
228	دور المقاس الحبيبي في الخواص الميكانيكية
234	احتياطات عامة
234	اختبار النموذج
235	تأثير المعالجة الحرارية
235	تأثير الزمن
235	الاكسدة
235	هشاشة الهيدروجين
236	التلدين للحصول على خواص شد معينة
236	التحميل (الشحن)
236	التشققات النارية
236	الشوائب
237	الصدمة الحرارية
237	بقع الكبريت
237	ازالة الاجهادات
239	التصليد بالترسيب

240	سبيكة نحاس بريليوم
243	سبيكة نحاس - نيكل - فسفور
244	سبيكة نحاس - كروم
246	التصليد التحولي
247	التحلل المغزلي
248	التصليد المنتظم
248	التصليد المجهري المزدوج

### الفصل الثامن

#### العيوب التصنيعية في المنتجات

253	عيوب السباكة
253	تصميم قالب السكب
253	الصهر
254	السكب (الصب)
254	مكونات الشحنة
254	عيوب سطحية
254	عيوب داخلية
254	التكوين الكيميائي
255	عيوب الدرفلة
256	عيوب الدرفلة الحارة
257	عيوب الدرفلة الباردة
258	عيوب البثق المباشر
258	التشقق السطحي
258	الاختلاف في بنية المعدن
259	عيوب النهايات

260	عيوب عملية السحب
260	خطوط طولية
260	الشظايا
260	شقوق او طيات طولية
260	وجود الاجهادات الداخلية
260	عيب قشرة البرتقال
260	عيوب السحب العميق
161	خدوش عمودية
261	ثنيات وتجعدات
261	بريق ولمعان سطحي
261	عدم انتظام ارتفاع جدار الظرف
261	ظاهرة الاقراط

## الفصل التاسع

### تشغيل النحاس وسبائكها

265	المقدمة
266	تأثير التكوين الكيميائي
267	المجموعة الاولى - سهلة التشغيل
267	المجموعة الثانية - متوسطة التشغيل
274	المجموعة الثالثة - صعبة التشغيل
276	عمليات التشغيل
277	الخراطة
277	القطع
277	التشغيل بعدد التشكيل
277	التثقيب



281	تشغيل المستنات
281	توسيع الثقوب
281	التفريز
282	سوائل القطع
285	تصنيف وتطبيقات سوائل القطع
286	زيوت قطع نقيه
287	الزيوت المركبة
287	زيوت قطع الضغوط العاليه

### الفصل العاشر

#### التاكل في النحاس وسبائكته

293	المقدمة
195	التعرض للهواء الجوي
295	التعرض للتربة
296	التعرض للماء
298	التعرض للابخره
299	التعرض للمياه المالحة
300	التعرض للحوامض
302	التعرض للمحاليل القاعدية
303	التعرض لمحاليل الاملاح
303	التعرض للمركبات العضوية
304	التعرض للغازات
306	الصفات المميزة للتاكل في النحاس
308	انواع التاكل
308	التاكل العام

308	التاكل الكلفاني
310	التاكل النقري
312	نضوب او انتزاع بعض مكونات السبيكة
313	التاكل بين البلورات
313	تاكل التشقق الاجهادي
316	تأثير التكوين الكيميائي للسبيكة
319	طلاء الحماية (الوقاية)

### الفصل الحادي عشر

#### وصل النحاس وسبائكه

323	المقدمة
324	اختيار عملية اللحام
326	التثبيت
328	التسخين المسبق
333	المواد الصهورة
336	تأثير عناصر السبك على نوعية اللحام
336	العوامل المؤثرة في اللحامية
337	التوصيلية الحرارية
337	غازات التغليف (الحماية)
339	تصميم وصلة اللحام
339	مكان اللحام
340	السبائك القابلة للتصليد بالترسيب
345	التشقق الحار
345	المسامية
345	ظروف السطح

346	لحام قوس التنكستن الغازي ( GTAW )
346	نوع التيار
346	الاقطاب (اسلاك اللحام )
347	معادن الحشو
348	التطبيقات الممكنة
349	اللحام التناكبي
350	النحاسيات
351	تأثير اوكسيد النحاس
351	الغازات الواقية
352	التيار
352	الاقطاب
352	اللحام بدون معدن حشو
352	معدن الحشو
353	تقنية اللحام
353	تصاميم وصلة اللحام
353	التسخين المسبق
354	النحاس المختزل
354	النحاس الخالي من الاوكسجين والنحاس النقي المتين
355	اللحام مع المعادن المختلفة
355	اللحام باستخدام معدن حشو
355	التسخين المسبق
358	لحام القوس المعدني الغازي ( GMAW )
358	ظروف لحام القوس المعدني الغازي
359	اسلاك الاقطاب (معادن الحشو)
361	سبائك النحاس غير المتشابهة
361	التسخين المسبق
361	لحام القوس المعدني المغلف ( SMAW )
362	التطويرات الحديثة
362	لحام الكاوية

364	اسس لحام الكاوية
365	سبائك لحام القصدير/ رصاص
366	التطبيقات
366	المواد الصهورة
366	التنظيف الاولي وتحضير السطح
367	تصميم وصلة اللحام
367	التبريص
369	انواع التبريص
373	تبريص المقاومة
375	تصميم وصلات التبريص
378	سماحية وصلة لحام التبريص
378	المواد الصهورة في التبريص
380	طرائق حشو التبريص
380	مميزات التبريص ومحدودياته
381	لحام المونه
381	اللحام الاحتكاكي
382	لحام النقطة
383	لحام الحزمة الالكترونية
383	اللحام الانتشاري

## الفصل الثاني عشر

### الخواص الميكانيكية وبعض الخواص الاخرى

387	المقدمة
388	خواص النحاس وسبائكه وعلاقتها بدرجة الحرارة والزمن
405	الملحق
409	المصادر
413	المصطلحات العلمية و ما يقابلها بالعربية

## المقدمة

لقد تطلب التطور الحضاري للبشرية الى استخدام مختلف انواع المواد، وحسب ما تتمتع به من خواص، ومنها المعادن والسبائك في التطبيقات الصناعية والاستخدامات الاخرى وبقدر ما تتطلبه الحاجة الى ذلك.

يمكن تقسيم السبائك بصورة عامة الى مجموعتين اساسيتين هما السبائك الحديدية (Ferrous alloys) والتي يمثل الحديد العنصر الاساس فيها غالبا. واخرى لا حديدية (Nonferrous alloys) وتشمل بقية السبائك والمعادن الاخرى كالنحاس والخرصين والالمنيوم والرصاص والتيتانيوم وغيرها.

لا تزال السبائك الحديدية تُنتج بكميات كبيرة في العالم قد تفوق بمعدلات انتاجها جميع السبائك غير الحديدية. وبالرغم من ذلك فان السبائك والمعادن اللاحديدية لها تطبيقاتها الصناعية الحاسمة كالالمنيوم وسبائكه في صناعة الطائرات ومركبات النقل والاولاني المنزلية لخفته وانطلائه بطبقة واقية من اوكسيده وكذلك التيتانيوم في مجال الصواريخ والنقل والطب، والفضة في صناعة افلام التصوير والحلي والتنكستن في صناعة شعيرات المصابيح الكهربائية والمسخنات وتطبيقات درجات الحرارة العالية وهكذا بالنسبة لبقية المعادن وحسب الاستخدامات التي تلائمها اضافة الى الاعتبارات الاقتصادية والتوفر.

ولكن النحاس يمتاز على كل المعادن الاخرى (عدا الفضة) بتوصيلته الكهربائية والحرارية العاليتين وكذلك تمتاز كثيرا من سبائكه بميزات صناعية مهمة. فتستخدم في اللحام والصناعات البحرية والديكور... الخ لمقاومتها العالية نسبيا للتآكل، اضافة الى ما للنحاس وسبائكه من الاهمية الكبرى في الصناعات العسكرية.

يستخدم النحاس منذ القدم (اي قبل ما يقرب من 3000 سنة قبل الميلاد حسب المصادر التاريخية واللقى الاثرية) حيث إمتاز البابليون والسومريون والمصريون بمهارة تصنيع المعدات والتمائيل والاولاني التي تعد رمزا كبيرا وتراثا مهما في عالمنا المعاصر.



وقد شهد التطور الصناعي استخداما واسعا للنحاس وسبائكه لكونه يمتاز بخواص قد لا تتوفر في المعادن الاخرى. وحيث ان صناعة النحاس وسبائكه تعد صناعة ناشئة نسبيا في الوطن العربي فقد راينا ان من الضروري اعداد مثل هذا الكتاب لما سيعود بالفائدة على العاملين في هذه الصناعة من جهة الى جانب طلبة الجامعة كطلبة اقسام هندسة المعادن والانتاج الميكانيك والهندسة الصناعية اضافة الى طلبة المعاهد الفنية وكليات المجتمع من جهة اخرى. لما نامله من أن يسهم ذلك في دعم هذه الصناعة في وطننا العربي الكبير. إضافة الى ان الكتاب يلقي الضوء على الخواص الصناعية للنحاس وسبائكه وما يتعلق من اسس لتكنولوجية التصنيع.

ومن الجدير بالذكر انه قد استخدمت المواصفة الالمانية DIN او نظام جمعية تطوير النحاس ( Copper Development Association ) ( CDA ) اي نظام الترقيم الموحد ( Unified Numbering System ) على حد سواء في تشخيص وتصنيف النحاس وسبائكه وفي مختلف فصول الكتاب.

و الكتاب غني بالجداول العددية والرسوم التوضيحية والمنحنيات الاساسية التي تصف سلوك النحاس وسبائكه وتصنيعها وعند مختلف الظروف. وبذلك نامل من الله العلي القدير باننا قد وفقنا لتقديم ما لدينا من خبرة نظرية وعملية لمن يعينهم ذلك من الناطقين بالضاد والله نسأل ان يوفقنا الى ما فيه نفع المهندسين والصناعيين والطلبة على حد سواء انه نعم المولى ونعم النصير.

المؤلفون

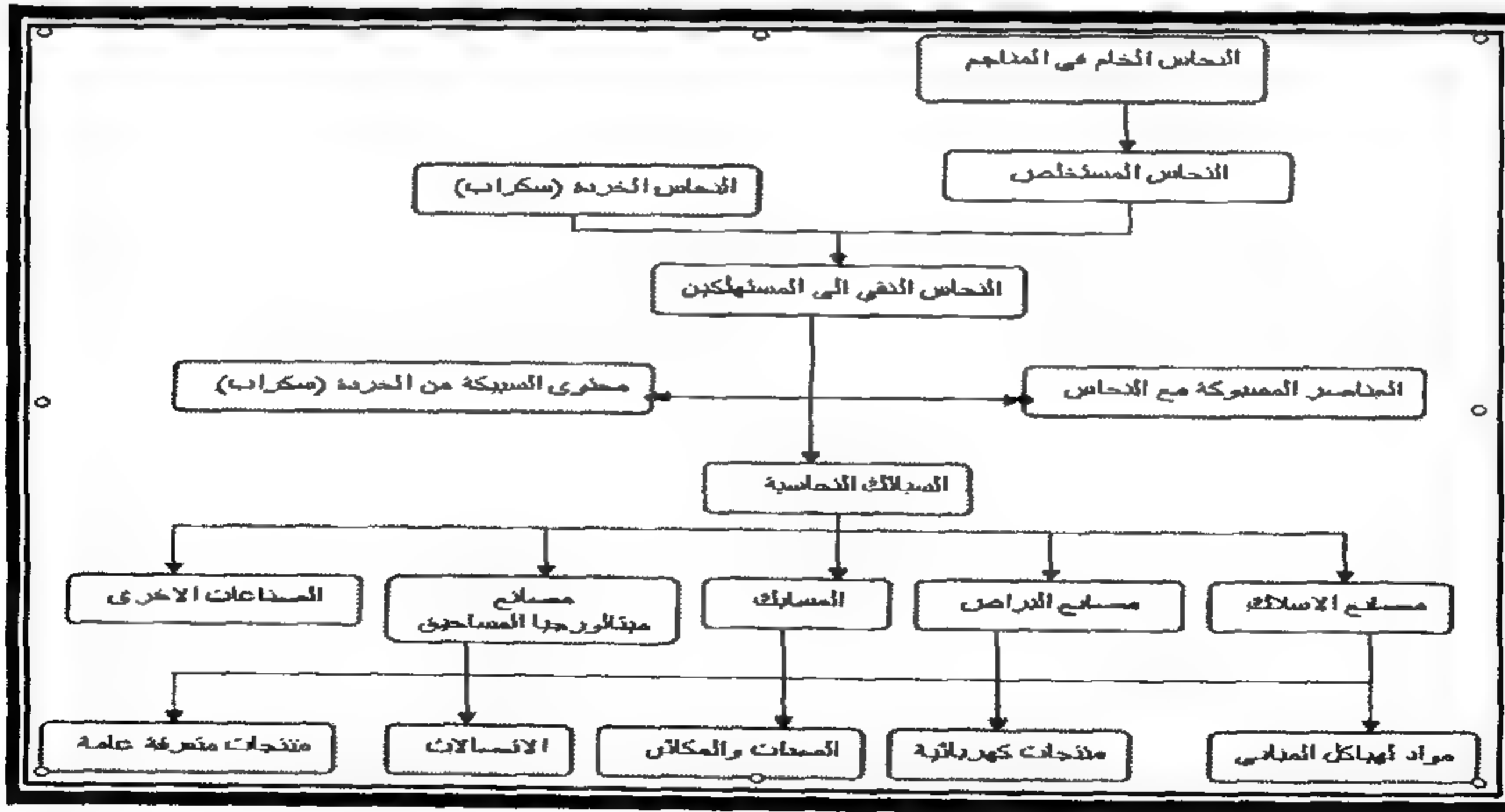
## مدخل الى النحاس وسبائكه

### Introduction to Copper and Its Alloys

يعتبر النحاس من العناصر ذات النسب القليلة في القشرة الارضية، فهي تحتوي على (0.1 %) منه في كتلتها. وقد يستخدم النحاس بنقاوة عالية، وعندما يشار الى استخداماته يلفت النظر الى قابليته العالية للتوصيل الحراري والكهربائي وقابليته للتشكيل والتشغيل ومقاومته العالية للتآكل اضافة الى مقاومته (Strength) العالية. ويمتاز النحاس بسطح براق وجميل عند صقله. والنحاس معدن غير مغناطيسي (Para magnetic) وسهل التصنيع ومتين (Tough). وعندما تستدعي الحاجة لتحسين احدى خواصه آنفة الذكر وخاصة المقاومة يتم ذلك باضافة بعض المعادن اليه لتنتج السبائك النحاسية والتي سيتم التعرف عليها في فصل لاحق من هذا الكتاب.

هناك حلقتان رئيسيتان في صناعة النحاس وسبائكه هما:

- 1- استخلاص النحاس من خاماته.
  - 2- تصنيع النحاس وسبائكه بالسباكة وطرائق التصنيع الاخرى.
- ويبين الشكل أدناه مخططا للعمليات والمراحل التي يمر بها النحاس من المنجم وحتى وصوله الى المستهلكين.



مخطط للعمليات والمراحل التي يمر بها النحاس وسبائكه



# **الفصل الاول**

## **مصادر النحاس وتوفره**





## الفصل الاول

### مصادر النحاس وتوفره

#### 1-1 تواجد النحاس عالميا:

يتواجد النحاس في دول مختلفة من العالم كما في الشكل (1-1) حيث يبين الدول التي تتضمن اهم مناجم النحاس في العالم ولقد حدد بعض الباحثين احد عشر اقليما نحاسيا في العالم الشكل (1-2) والاقليم هو بقعة جغرافية تحتوي على رواسب معدنية ذات انواع واعمار مختلفة. هذه البقع او المساحات قد تكون متجاورة او متراكبة في بعض اجزائها وهذه المساحات قد تمتد عدة الاف من الكيلومترات او اقل من ذلك. ويظهر الشكل انف الذكر مواقع اهم (55) راسب نحاس في العالم والتي يزيد المحتوى الفلزي لكل راسب منها على مليون طن. كما يظهر مواقع (20) راسب نحاس اخرى ذات اهمية معقولة. وتتواجد خارج الاقاليم السالفة الذكر (ستة رواسب منها في المنطقة العربية)

وفيما يلي اقاليم النحاس هذه حسب تسلسل اهميتها :-

- 1- اقليم الانديز
- 2- اقليم الكرديليتيز الغربي لامريكا الشمالية
- 3- اقليم افريقيا الجنوبية
- 4- اقليم البحيرات الكبرى في امريكا الشمالية
- 5- اقليم اوربا الشمالية
- 6- اقليم اورال - كازاخستان
- 7- اقليم شرق البحر المتوسط
- 8- اقليم هولغا
- 9- اقليم الفليبين

10- اقليم اليابان

11- اقليم استراليا الشرقية

## 1-2 احتياطات النحاس العالمية ووفرة النحاس:

قام بعض الباحثين بدراسة حول وفرة النحاس عالميا، وقد قدمت الى مؤتمر التعدين العالمي الحادي عشر. حللت الدراسة معطيات (271) منجما لرواسب نحاس معروفة عالميا والمتواجدة في اربعين دولة. تم تقسيم العالم الى ستة مناطق.



الشكل (1-1)

خارطة العالم تبين المناطق الاساسية المنتجة للنحاس

أمريكا الشمالية:

1- البحيرات الكبرى.

2- مونتانو.

3- أوتا.

- 4- نيفادا.
- 5- أريزونا.
- 6- مكسيكو.
- 7- مانيتوبا.
- 8- اونتاريو.
- 9- كوبيك.
- أمريكا الجنوبية.
- 10- بيرو.
- 11- شيلي.
- أفريقيا:
- 12 - زائير.
- 13- زامبيا.
- 14- بوتسوانا.
- 15- زمبابوي.
- 16- جنوب افريقيا.
- 17- ناميبيا.
- 18- نايجيريا.
- أوروبا:
- 19- فنلندا .
- 20- المانيا.
- 21- أسبانيا.
- 22- يوغسلافيا.
- 23- تركيا.
- 24- قبرص.

## أستراليا :

27- تسمانيا.

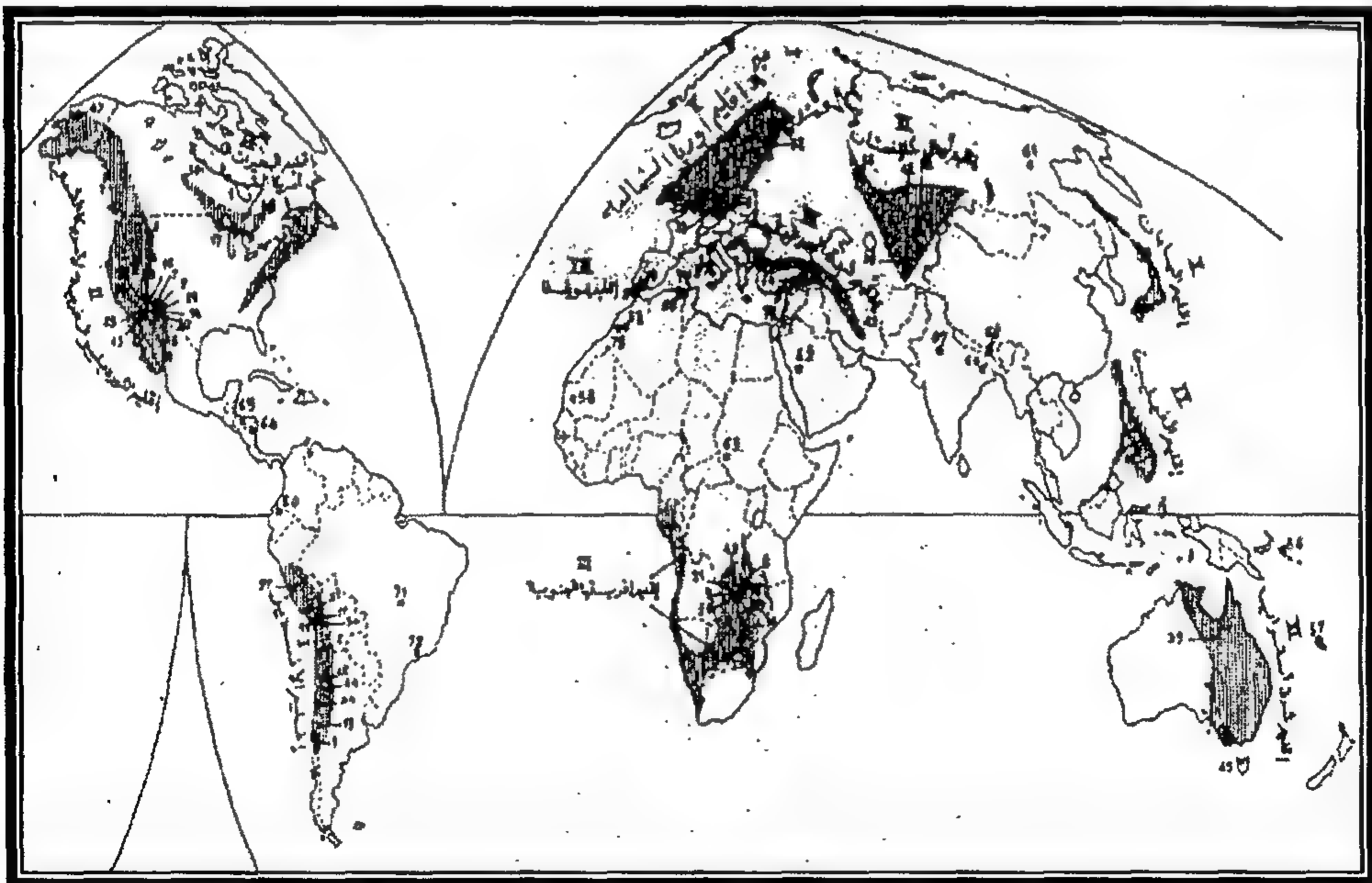
آپا:

29- الهند.

30-اليابان.

31- کوریا۔

32-الصين



## المواقع الجغرافية لأقاليم النحاس العالمي.

اما أسماء المناطق المرقمة في هذه الاقاليم إضافة الى بعض المناطق الانفرادية لتواجد النحاس فمبينه في أدناه.

مناطق رواسب النحاس الهامة (اكثر من مليون طن) داخل اقاليم النحاس العالمية :

1	براون التيشينتي	20	صان مانويل	39	مونت اسبا
2	كوكو يكاماتا	21	بانكروفت	40	كيوشي
3	لوبان	22	مانسفيلد	41	لوتوبان
4	بنجام	23	كورنيليا الشمالية	42	بيشاكول
5	نشانجامبيولا	24	بوتريريلوس	43	دوفار
6	بوت	25	ستاريتا يانوفر	44	انداكولو
7	لون ستار	26	السي	45	مونت ليل
8	موخوليرا	27	ري	46	ماجدا نيك
9	مورينسي	28	كانانيا	47	روبي كريك
10	نكانا ميندولا	29	الماليك	48	هورن كويمونت
11	كواجونز	30	بالوبا	49	سار شيسميد
12	السلفادور	31	نسيمارون	50	فلين فلون
13	ديسبوتادا	32	كونراد	51	شامبيشي
14	رون مولياشي	33	بالابورا	52	اوتوكومبو
15	توكوبالا	34	كويلافيكو	53	تارسييس
16	كاستل دوم	35	فيردي المتحدة	54	ارجاني وايس
17	وايت باين	36	تيرون	55	ديز جارسك
18	بيسي	37	موروكوشا		
19	ريوتنتوبانافلور	38	منيرال هل		



مناطق رواسب النحاس الهامة خارج اقاليم النحاس العالمية:-

56	بوجين فيل	64	بونازا	72	نكويلانديا
57	اوندو	65	ميناس دي اورو	73	كاكابافا
58	اكجوجت	66	سيلج بور	74	تيمناع
59	بليدة	67	فيتري	75	مولتي كاتيني
60	ماكوشي	68	بوتان	76	ونسيمي
61	اودوكان	69	كافالو	77	
62	جبل صايد	70	عين برير	78	
63	حفرة النحاس	71	كف ام طبول	79	

ويتبين من الجدول (1-1) الذي يعطي المعلومات الاساسية عن احتياطات النحاس لكل منطقه ان احتياطات النحاس العالمية المقدرة لعام 1980 تصل الى (415) مليون طن متري من فلز (معدن) النحاس.

كما يتبين من الجدول (1-1) ان احتياطات شيلي من رواسب امريكا الجنوبية تشكل حوالي 70% وان احتياطات امريكا الشمالية تشكل حوالي ثلث موارد النحاس في العالم والتي ياتي 65% منها من الولايات المتحدة.

ان الرواسب الافريقية تمثل اكبر نسبة محتوى (تركيز) فلزي (معدني) من رواسب اية منطقة اخرى في العالم اي بمعدل 2.75% من وزن الخام. فمعدل المحتوى الفلزي لرواسب النحاس في زامبيا وزائير، على سبيل المثال، والتي تمثل اهم الرواسب الافريقية يصل الى حوالي 3.5% في حين ان معدل المحتوى الفلزي لرواسب امريكا الجنوبية حوالي 0.87% ومعدل المحتوى الفلزي لرواسب امريكا الشمالية هو 0.63%.

لقد خضع الهيكل الصناعي للنحاس وسبائكه في الولايات المتحدة، باعتبارها المنتج والمستهلك الاول في العالم، لتغيرات كبيرة خلال العقود القليلة الماضية. ففي سنة 1966، على سبيل المثال، كانت الولايات المتحدة ببساطة اكبر منتج ومستهلك للنحاس

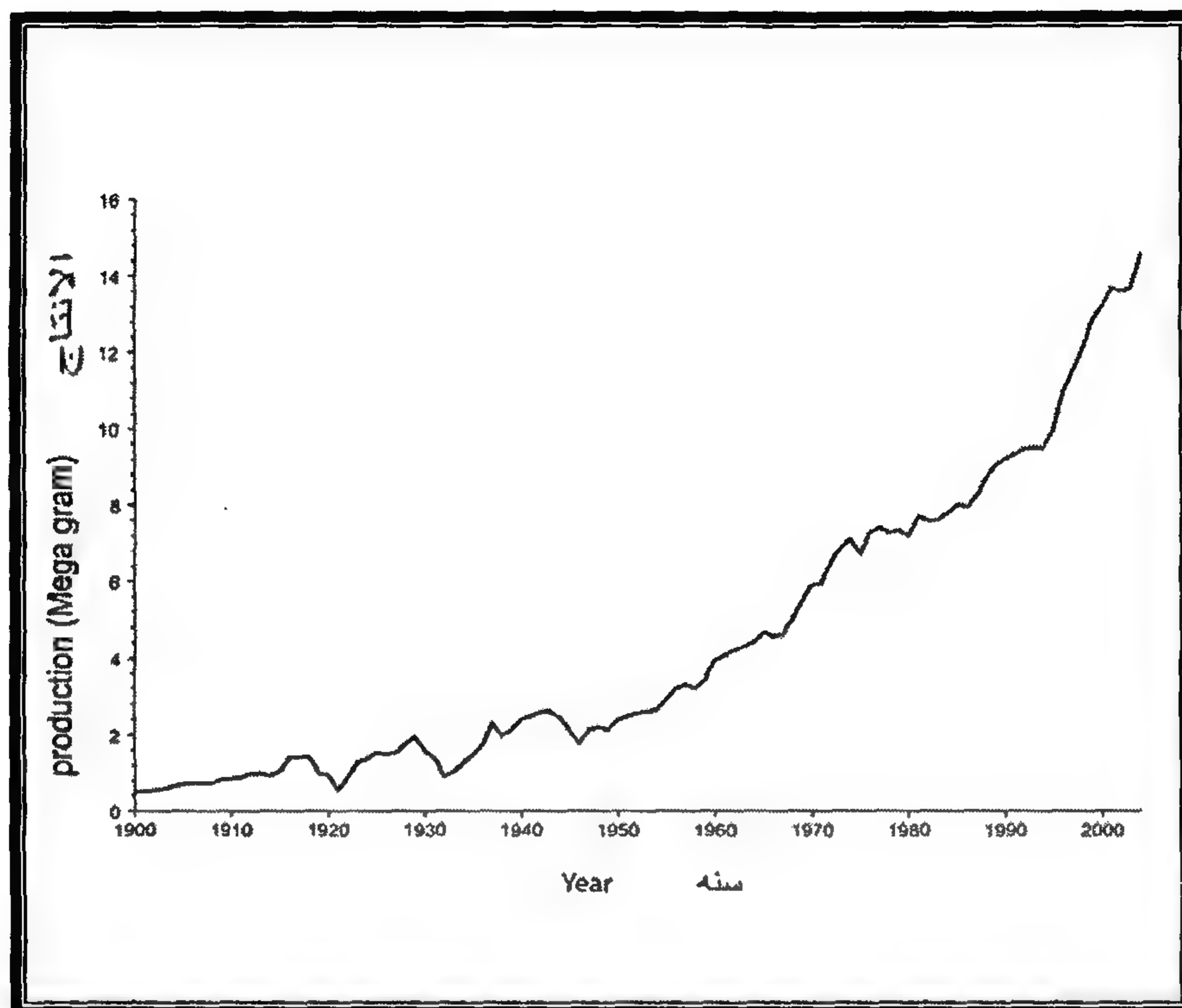
المستخرج من المناجم الى جانب ذلك كانت الشركات الامريكية مسؤولة عن اغلب انتاج المناجم الشيلية وهذا يعني ان الولايات المتحدة تسيطر فعليا على حوالي 45% من الانتاج العالمي للنحاس. الا انه تم في نهاية الستينيات تامين مناجم النحاس في شيلي وقد وسعت الحكومة الشيلية استخراج خامات النحاس من المناجم. اما انتاج الولايات المتحدة في الوقت الراهن فهو حوالي 16% من الانتاج العالمي. في حين ان انتاج شيلي يبلغ حوالي 18% يصدر معظمه الى الخارج وهي تمتلك اكبر احتياطي عالمي من النحاس اما المنتجين المهمين الاخرين في العالم فهم كندا وزامبيا وزائير وبيرو. اما بقية انتاج المناجم في البلدان الاخرى فيقدر بمحدود 60% والشكل (1-3) يبين احصائية انتاج المناجم من النحاس عالميا وتغيره مع الزمن ومنذ سنة 1890 حتى حوالي 2005.

اما نسبة استخدام النحاس وسبائكه في المجالات التطبيقية المختلفة في الولايات المتحدة، باعتبارها اكبر سوق لهذه المواد، في سنة 1980 ومقارنة ذلك مع سنة 1989 فمبين في الجدول (1-2). حيث يلاحظ ان الاستهلاك في مجال التوصيلات الكهربائية لقطاع البناء والانشاءات هو الاكثر يليه قطاع التدفئة وانابيب الصرف الصحي وهكذا يتدرج في بقية المجالات.

اما انسياب النحاس في اقتصاد الولايات المتحدة فيبينه الشكل (1-4) اعتمادا على بيانات سنة 1989.

الجدول (1-1)  
معلومات عن موارد النحاس حسب المناطق

النسبة من المجموع العالمي (%)	النحاس القابل للاسترجاع (مليون طن متر)	محتوى النحاس (مليون طن متر)	المادة الخام في المنطقة (مليون طن متر)	محتوى النحاس في الخام %	عدد الرواسب	المنطقة
36	119	140	15990	0.87	37	امريكا الجنوبية
33	108	133	21044	0.63	118	امريكا الشمالية
14	47	67	2228	2.75	34	افريقيا
11	36	49	7372	0.67	48	شرق اسيا واستراليا
3	10	12	1205	1.04	17	الشرق الاوسط وغرب اسيا
3	11	14	2366	0.59	17	اوروبا
100	330	415	50407	0.82	271	المجموع العام



### الشكل (1-3)

#### انتاج مناجم النحاس العالمية

وبالرغم من مرور حوالي خمسة الاف سنة من تاريخ النحاس الا ان حوالي ثلاثة ارباع مجموع النحاس المستهلك استخدم منذ فترة الحرب العالمية الثانية.

## جدول (1-2)

الاستخدامات الأساسية الاخيرة للنحاس وسبائكه في الولايات المتحدة في سنة 1989 ومقارنتها مع سنة 1980.

بالمئة من المجموع (%)		التطبيقات
1989	1980	
16.9	10.7	التوصيلات الكهربائية في حقل البناء
14.9	13.4	التدفئة والصرف الصحي
9.8	8.7	المركبات والشاحنات والباصات
8.1	13.1	الاتصالات
7.7	7.4	استخدامات الطاقة
7.1	6.3	تكييف الهواء والتبريد التجاري
7.1	8.4	معدات صناعية
5.7	4.2	الالكترونيات
2.7	2.9	الادوات والتمديدات السلكية
0.9	2.7	العملة المعدنية
15.7	18.7	الاستخدامات الاخرى



← 37 →



### 1-3 النحاس في الوطن العربي:

أ. وجوده:

دلت الاكتشافات الجيولوجية التي أجريت للتحري عن مكامن النحاس على وجودها في الصخور القديمة التكوين وبشكل تكتلات كبريتوزية معقدة في خامات أهمها الشالكوبيرايت مختلطة أحيانا مع الفضة والذهب والحديد والرصاص والخاصين وبنسب متفاوتة. أما أهم مناطق هذه الترسبات في الوطن العربي فهي جبل صائد والعمار ووادي بيده وجرمة وام الدمار والنقرة في المملكة العربية السعودية. وفي الصحراء الجنوبية لمصر وفي منطقة حفرة النحاس بالسودان ومنطقة زينات في شمال الصومال. كما اكتشفت ترسبات النحاس في الصخور الرسوبية مختلطة بالرصاص والخاصين والمنغنيز والانتيمون في وادي عربة في الأردن ووادي جري في عُمان ومنطقة تيتوان وجبيليت بالمغرب وكذلك في العراق وتونس والجزائر وموريتانيا.

كما تتميز منطقة شمال الدرع الغربي في سوريا والأردن وفلسطين بوجود خامات النحاس في الصخور الرسوبية في طبقات الدولومايت والحجر الرملي والجيري.

ب. إنتاجه :

يتمركز حاليا استغلال ترسبات النحاس في الوطن العربي في أقصى المغرب العربي في كل من موريتانيا والمغرب والجزائر. ولا يشكل هذا الإنتاج نسبة كبيرة بالنسبة للإنتاج العالمي. ولكن الدراسات دلت على وجود مكامن لترسبات النحاس في حوض البحر الأحمر (السعودية ومصر والسودان واليمن).

بلغ الاحتياطي الأكيد من الرواسب النحاسية في جبل صايد بالسعودية 7 مليون طن من الخام الحاوي على 2% نحاس و 1.4% خاصين و 40 غرام لكل طن فضة و 0.5 غرام لكل طن ذهب. وفي السودان بلغ الاحتياطي المؤكد 5 مليون طن من الخامات الحاوية على 4.11 نحاس، أما الاحتياطي المحتمل فهو 4 مليون طن من خامات نحاسية تحتوي على 3.98% من النحاس.

اما في الاردن فيبلغ احتياطي وادي عربة من خامات النحاس حوالي 55 مليون طن فيها نسبة نحاس %1.36.

تنتج موريتانيا من النحاس بمحدود عشرة الاف طن سنويا والمغرب خمسة الاف طن سنويا والجزائر خمس مائة طن سنويا.

اما اهم المشاريع العربية لتعدين خامات النحاس فهي كما موضحة في الجدول (1-3).

### جدول (1-3)

اهم المشاريع بالمنطقة العربية لتعدين النحاس.

البلد	اسم المشروع	الملاحظات
موريتانيا	اكجوجت	تبلغ الطاقة الانتاجية لمنجم اكجوجت حوالي 20 الف طن سنويا من خامات النحاس الذي تتراوح نسبة معدن النحاس فيه 66 الى %73.3 وقد اكتشفت خامات جديدة نحاسية في نفس المنطقة واعدت خطط لتطويرها
المغرب	- بوسكور - تانسريفت - البليدة	تبلغ قيمة انتاج المنجمين من الخامات حوالي 6 مليون دولار سنويا. يهدف المشروع الى انتاج وتركيز النحاس بطاقة انتاجية سنوية تبلغ 30 الف طن سنويا وتقدر قيمة الانتاج السنوية بحوالي 14 مليون دولار
الاردن	وادي عربة	تم تقدير احتياطي وادي عربة من خامات النحاس بحوالي 55 مليون طن بنسبة محتوى %1.36 من معدن النحاس والطاقة الانتاجية لهذا المشروع 30 الف طن من النحاس سنويا.

### 4-1 مصادر النحاس:

يبين الجدول (1-4) انواع خامات النحاس التي يتم الحصول عليها من المناجم، ويتواجد النحاس في الطبيعة على هيئة تكتلات كثيفة من كبريتيدي النحاس والحديد او

على هيئة دقائق صغيرة متناثرة في الصخور الحرارية. وتكون خامات النحاس المختلطة بشكل منتجات غير تامة التأكسد من خامات النحاس الكبريتيدية. وغالبا ما تكون خامات النحاس ذات تركيب معقد متحدة مع فلزات اخرى او مخلوطة معها كالحارصين والرصاص والمولبدنوم والذهب والفضة وكذلك الكبريت والسيلينيوم والتليريوم و الثاليوم والكوبلت وغيرها من العناصر الاخرى.

تحتوي مركبات النحاس الناتجة بعد عملية التركيز على نسبة تتراوح بين (11%-35%) من النحاس. اما في باقي عمليات التعويم التفاضلي للخامات المعقدة فينتج بالاضافة الى مركز النحاس، مركبات الرصاص والحارصين والنيكل والتي تستخدم بدورها كمادة خام في انتاج الفلزات آتفة الذكر. وتعالج خامات النحاس مع المولبدنوم لاستخلاص مركبات كل من النحاس والمولبدنوم وكذلك تعالج خامات النحاس مع الكوبلت لاستخلاص مركز الكوبلت منها.

#### جدول (1-4)

يبين اهم خامات معدن النحاس في الطبيعة.

التكوين الكيميائي للخام	الاسم العلمي للخام	
$CuFeS_2$	شالكوبيرايت	Chlcopyrite
$Cu_2S$	شالكوسايت	Chalcocite
$CuS$	كوفيللايت	Covelite
$Cu_3FeS_3$	بورنايت	Bornite
$Cu_3AsS_4$	اناجايت	Enagite
$Cu_3SbS_4$	فاماتنايت	Famatinite
$Cu_3SbS_3$	تتراهيدرايت	Tetrahedrite
$CuCO_3.Cu(OH)_2$	مالاسايت	Malacite
$CuCO_3.Cu(OH)_2.2$	ازورايت	Azurite
$CuSiO_3.2H_2O$	كريسوكولا	Chrysocolla

التكوين الكيميائي للخام	الاسم العلمي للخام	
Cu <sub>2</sub> O	كبريت	Cuprite
CuO	تينورايت	Tenorite
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	شالكونثايت	Chalconthite
CuSO <sub>4</sub> .3Cu(OH) <sub>2</sub>	بروكونايت	Brochonite
CuCl <sub>2</sub> .3Cu(OH) <sub>2</sub>	اتاكمايت	Atacamite
CuSO <sub>4</sub> .3Cu(OH) <sub>2</sub>	كرونكايت	Krohnkite
Cu <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>	تينانتايت	Tennantite

ومن الصعب الحصول على مركبات غنية بالنحاس بسبب تداخل المعادن المختلفة مع بعضها، ويتم الحصول على المركز (الركاز) مع نسبة من البيريت وذلك بتعويم (Floatation) خامات النحاس أو الحصول على خليط مركز من النحاس والبيريت ثم فصلان عن بعضهما بالتعويم أيضا. ويمكن استخلاص 85 % نحاس من خام البيريت على هيئة مركز نحاس. كما يستخدم البيريت المستنفذ في صناعة حامض الكبريتيك لاحتوائه على نسبة (40-50%) من الكبريت واما الخامات المعقدة للنحاس والخارصين فيمكن استخلاص (80-90%) من النحاس و(65-70%) من الخارصين الموجود فيها والجدول (1-5) يبين تراكيب مركبات النحاس.



## الجدول (5-1)

التركييب الكيمياوية لمركزات النحاس.

التكوين الكيمياوي وزنا بالمئة ( wt % )							الخام الاصلي
CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	Zn	Cu	
2-0.5	7-3	5-3	37-32	37-35	7-4	20-11	البيريت
2-0.5	7-5	5-3	30-25	35-30	4-2	15-11	نحاس- خارصين
5.2-0	8-5	10-5	27-25	30	-----	25-20	الخامات المتناثرة
2-1	8-5	30-29	20-16	20-10	-----	35-28	الخامات الصخرية

تصنع كميات لاباس بها من النحاس عن طريق الخردة (Scrap) و المنبذات (رايش المصانع) ويسمى النحاس الثانوي. وتجري معالجة مختلف انواع النحاس الاصفر (البراص) والبرونز على انفراد حيث تصهر وتحول الى سبائك بعد ضبط النسب المثوية لمركباتها. ثم ترسل الخردة الفقيرة بالنحاس او ما يطلق عليها بالخردة غير المصنفة الى مرحلة اعادة عمليات التركيز للحصول على النحاس النقي. وتنتمي الى النحاس غير المصنف النفايات التي لا يمكن تصنيفها ابدا والتي تحتوي عادة على 8 - 15 % من النحاس.

### 5-1 أستخلاص النحاس:

يستخلص النحاس من خاماته ومركزاته بطريقتين هما الصهر والنض (leaching) ويقدر 90 % من الانتاج العالمي مستخلصا بطريقة الصهر او ما يسمى بالطريقة الميتالورجية الحرارية (Pyrometallurgical).

ان اكثر من 90% من معدن النحاس المنتج عالميا يستخلص من خاماته الكبريتيدية. يوضح الجدول (1-4) اهم انواع خامات النحاس المتواجدة في الطبيعة. أولاً: طريقة الصهر: (Melting)

تؤخذ خامات النحاس التي تكون على شكل كبريتيدات او اكاسيد الى عمليات التركيز وهي:

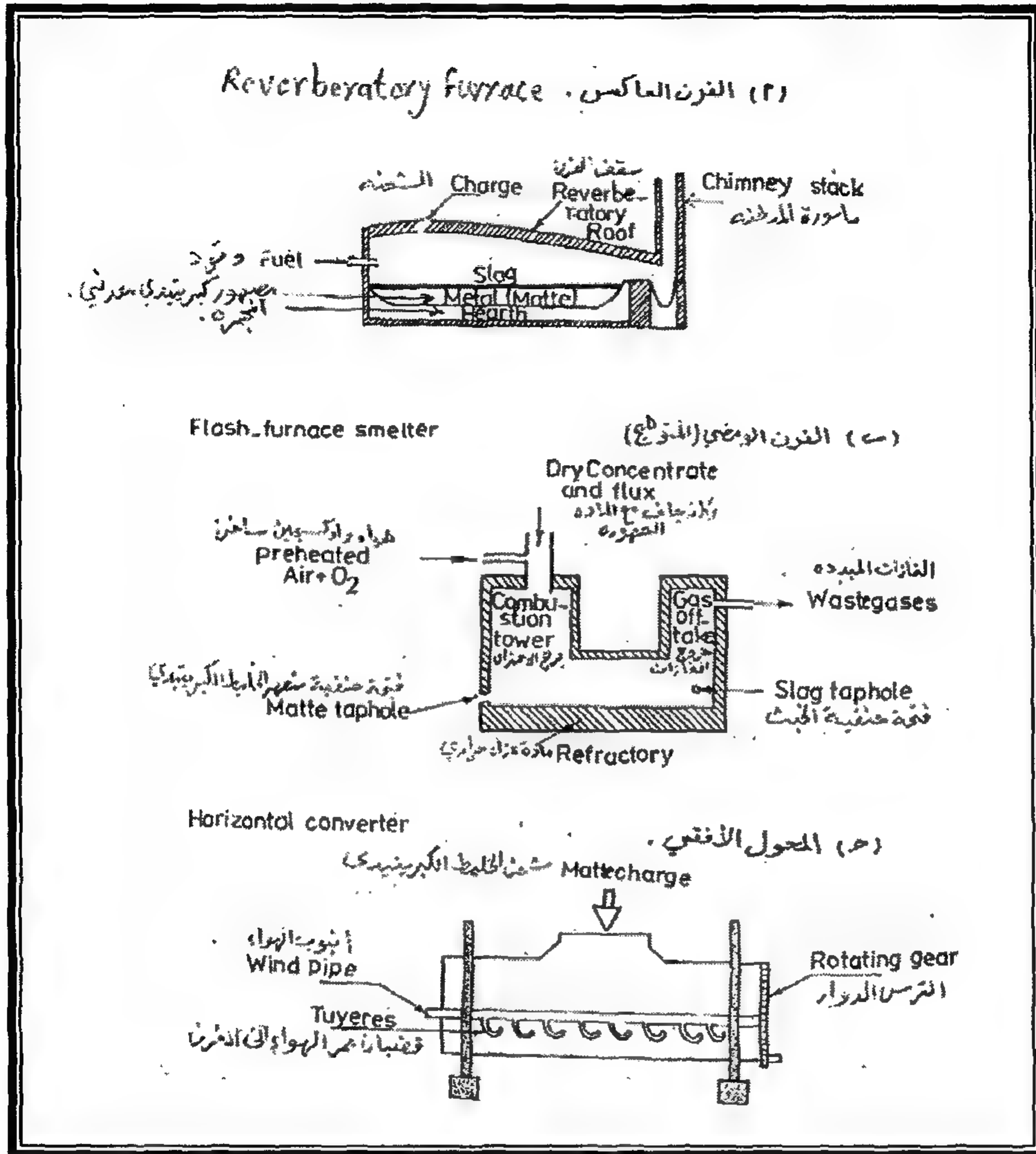
1- طريقة التعويم الرغوي (Floating)، وتتم بعد سلسلة متعاقبة من عمليات التكسير والطحن لتحرير المعدن من الشوائب حتى يصل تركيز المعدن في الخام من 20% - 40%.

2- عملية تجميع الخام المركز (Roasting) وفيها تتم اكسدة خامات النحاس الكبريتيدية وذلك بتسخينها في الهواء. حيث ينتج عنها خام مركز ومحمص وغازات عرضية يمكن الاستفادة منها لاغراض صناعة حامض الكبريتيك.

ويتم صهر الخام المركز والمحمص باستخدام الفرن العاكس (Reverberatory) او فرن الصهر المسمى بالفرن الومضي (Flash furnace)، والموضح في الشكل (1-5 أ و ب)، حيث تتجزأ الشحنة المنصهرة الى طبقتين سائلتين هما طبقة الكبريتيدات وطبقة الاكاسيد المنصهرتين. ونظرا لعدم ذوبان احدهما في الاخرى لاختلافهما في الوزن النوعي لذا تطفو الاكاسيد المنصهرة لقلّة وزنها النوعي. وبنفخ الهواء مع اضافة كمية محسوبة من السليكا، وذلك لازالة شوائب الحديد من الخام، حيث يحصل التفاعل الاتي:







الشكل (5-1)

مخططات مبسطة للفرن العاكس والومضي والمحول الأفقي.

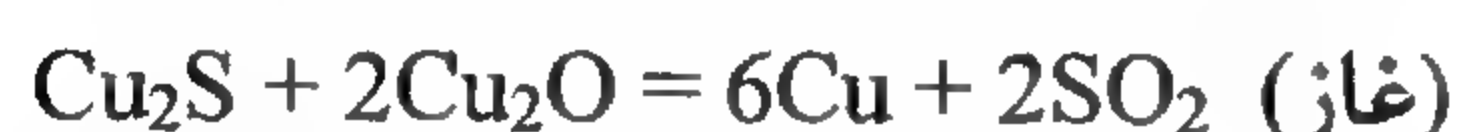


وبما ان الكبريتيدات ذات وزن نوعي اكبر من الوزن النوعي للاكاسيد، لذلك تستقر في اسفل قلب الفرن على هيئة مخلوط كبريتيدي (Matte) يحتوي على ( 50 - 25 % )

من النحاس ويتكون بشكل عام من (FeS+ Cu<sub>2</sub>S) وعناصر ثمينة كالذهب والفضة وينسب قليلة. يحول المخلوط الكبريتيدي الى المحولات الافقية (Horizontal converters) والتي يتم فيها ازالة الحديد والكبريت وذلك باكسدتهما عن طريق النفخ المستمر للهواء من خلال انابيب خاصة كما في الشكل (1-5ج) وكالاتي:

(1) مرحلة تكوين الخبث وازالة كبريتيد الحديدوز(FeS) وكما في التفاعل السابق والذي يتم فيه تحويل جميع كبريتيد الحديدوز الى اوكسيد الحديدوز(FeO) ثم يزال كخبث متكون من سليكات الحديد بعد اضافة السليكا(SiO<sub>2</sub>) اليه. وتتم ازالة الخبث بامالة المحول ثم اعادته الى وضعه واطرافه كميات اخرى من المخلوط الكبريتيدي اليه. وتكرر العملية حتى يصبح المحول ملئاً بكبريتيد النحاس(Cu<sub>2</sub>S).

(2) مرحلة تكوين النحاس المنقط (Blister Copper) او نحاس الغفل، فبعد ازالة جميع كبريتيد الحديدوز(FeS) بالاكسدة يبدأ انتاج النحاس عن طريق اكسدة(Cu<sub>2</sub>S) وحسب التفاعل الاتي:



حيث يكون النحاس الناتج من العملية المذكورة ذا نقاوة 98% ويسمى النحاس المنقط والذي يحتوي على شوائب بنسبة 0.5%-2%. وتشمل الشوائب التي يمكن التخلص منها بالاكسدة الكبريت والكادميوم والخارصين والمغنيسيوم والحديد والالمنيوم والقصدير والانتيمون والزرنيخ.....الخ. اما بقية الشوائب والتي يمكن التخلص منها بعملية التحليل الكهربائي (الالكتروليتي) فتشمل النيكل والسيلينيوم والتليريوم والبزموت والكوبلت والفضة والذهب. والجدول (1-6) يبين نسب الشوائب في النحاس المنقط قبل وبعد التنقية الحرارية.

## الجدول (6-1)

النسب المئوية للشوائب في النحاس المنقط قبل وبعد التنقية الحرارية.

الرمز الكيميائي	النحاس المنقط	Blister Copper
	النسبة وزنا بالمئة قبل التنقية الحرارية	النسبة بعد التنقية الحرارية
Cu + Ag	99.49	99.92
Fe	0.0066	0.0037
S	0.0190	0.0016
Ni	0.0208	0.0207
As	0.0072	0.0031
Sb	0.0025	0.0020
Bi اقل من	0.0001	0.0001
Se + Te	0.0095	0.0093
معادن غير ذائبة	0.0233	لا يوجد
O <sub>2</sub>	0.4210	0.0390

### 1-5-1 التنقية الحرارية للنحاس:

تتم عملية تنقية النحاس المنقط اولا بالافران الحرارية والتي تشمل :

1. اكسدة الشوائب انفة الذكر عن طريق نفخ الهواء خلال انابيب حديدية ممدودة داخل النحاس المنصهر وازالة الخبث. وتستمر هذه العملية الى ان يتم الوصول الى نسبة اوكسجين بين 0.6 الى 0.9 % كمرحلة اولى، حيث يتم التأكد من ازالة الكبريت.

2. تقليل محتوى الاوكسجين في النحاس وذلك بتغطية المنصهر بالفحم (Coal)، وتحريك المنصهر باستخدام جذع شجرة اخضر، لان الخشب الاخضر يساعد على تقليل نسبة اكاسيد النحاس بحيث يمكن الوصول الى حد (0.03-0.06 %) من الاوكسجين في النحاس النقي المتين (Tough Pitch Copper).

### 2-5-1 التنقية الكهربائية:

يعالج ناتج التنقية الحرارية بواسطة التحلل الكهربائي وتتم التنقية الكهربائية في حوض (خلية) مصمم لهذه الغاية.

يصب النحاس المنتج من الطريقة الحرارية على شكل اقطاب المصعد (Anodes). اما اقطاب المهبط (Cathodes) فتصنع من رقائق النحاس النقي المطلي بطبقة رقيقة من الشحم لتسهيل قشط النحاس منه عند ترسبه عليه خلال العملية. يتكون المنحل الكهربائي من كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) بتركيز  $50 \text{ kg/m}^3$  وحامض الكبريتيك ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) بتركيز  $200 \text{ kg/m}^3$ . تضاف الى المحلول بعض المواد (العوامل) المساعدة كالصمغ او الكحول ويتم التحلل الكهربائي عند درجة حرارة تتراوح بين  $50^\circ\text{C}$  الى  $60^\circ\text{C}$ ، وكثافة تيار مقداره  $250 \text{ Amp/m}^2$ . وعند مرور التيار الكهربائي تبدأ عملية التحلل وذلك بترسب النحاس النقي على المهبط والذي يكون بنقاوة افضل من 99.9 % كنحاس كاثودي (Electrolytic Tough Pitch Copper). اما العناصر الاخرى ضمن النحاس المنقط مثل الحديد والكوبلت والنيكل والتايتينيوم والذهب والفضة وغيرها، فانها تترسب على المصعد (Anode) كناتج عرضي وتسمى طفو المصعد الشكل (1-6). بينما يزداد تركيز البزموث والقصدير والزرنينخ في المحلول الالكتروليتي والذي يجب تبديله باستمرار لمنع تسرب البزموث والقصدير وغيرهما الى النحاس عند ارتفاع تركيزها في المحلول. وتفضل هذه الطريقة وذلك:

1- من اجل الحصول على الذهب والفضة واللذين يعوضان تكاليف الطاقة الكهربائية اللازمة للعملية بسبب ارتفاع سعريهما. ويبين الجدول (1-7) محتوى طفو المصعد بعد التنقية الكهربائية.

الجدول (1-7)

محتوى طفو المصعد (Anode) من العناصر بعد عملية التنقية الكهربائية.

النسبة المئوية فيه (wt %)	العنصر
40-10	Cu
8.5 - 1.4 كيلو غرام لكل طن	Ag
1.7-0.25 كيلو غرام لكل طن	Au
20-2	Pb
5-0.5	As
4-0.0	Te
25-5	Ni
10-2	S
2-0.5	Fe
2.5-0.0	Se

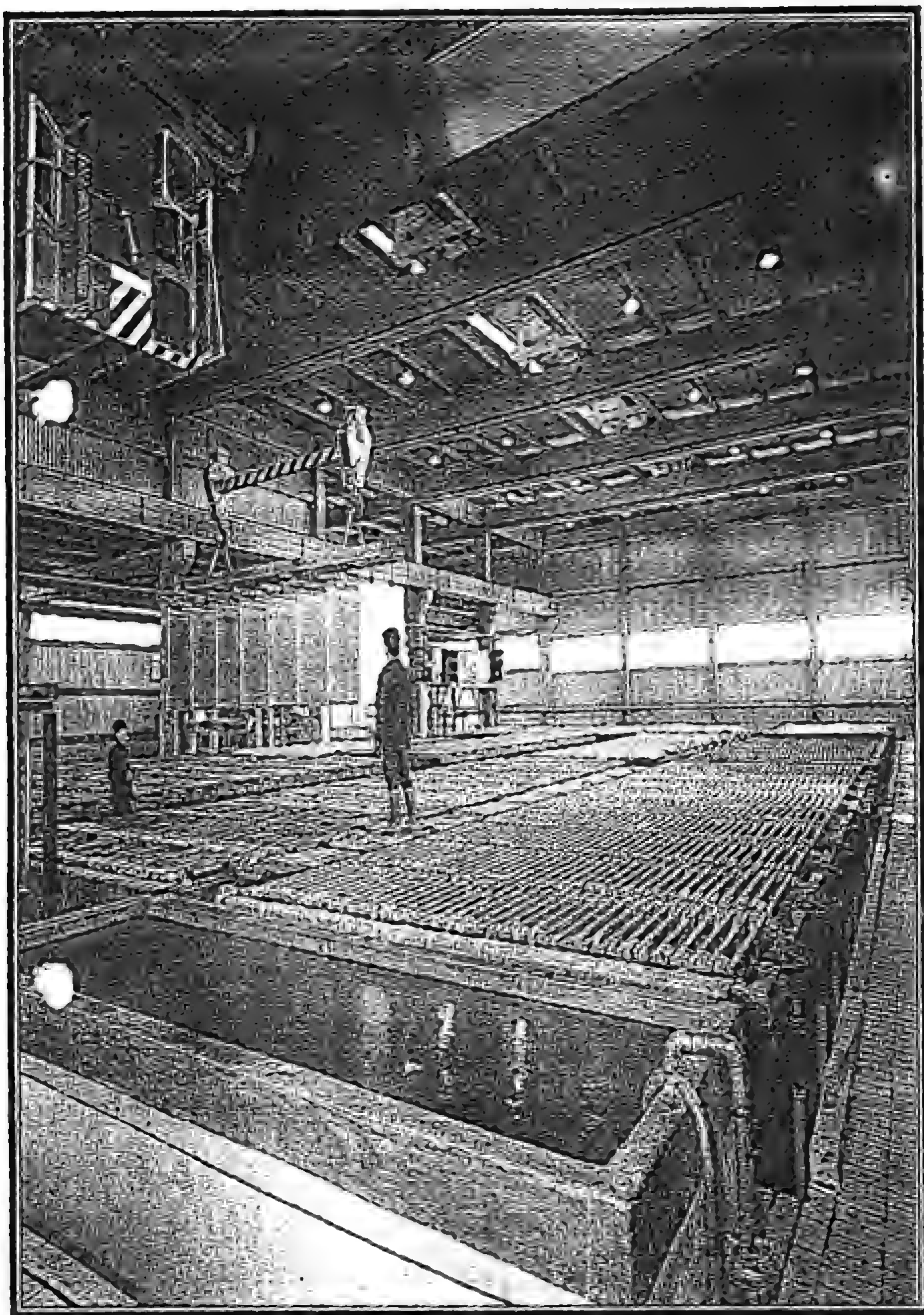
2- لازالة البزموث والذي يؤثر سلبا على الخواص الميكانيكية للنحاس.

3- من اجل تنقية النحاس الى مرتبة اعلى لكي يلائم واستخداماته للاغراض الكهربائية.



## الشكل (1-6)

طريقة تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي





ويمكن تلخيص عمليات الاستخلاص والتقية بالاتي:

كبريتيد مركز  $\text{Cu}_2\text{S}$



تحميص جزئي (Partial roasting)



فلزات (معادن) ثمينة  $\text{Cu}_2\text{S} + \text{FeS}$



الصهر في الفرن الومضي



تكون المخلوط الكبريتيدي (Matte  $\text{Cu}_2\text{S}$  of  $\text{FeS}$ ) مع فلزات ثمينة



التحويل الى المحول الافقي (Horizontal Converter)



نحاس منقط 98 % (Blister Copper)



التقية الحرارية (Fire Refining)

ثانياً " الطريقة الميتالورجية المائية (الهيدروميتالورجية) (النض Leaching):

وتسمى هذه الطريقة بالنض او الغسل بالحامض من الخامات الفقيرة واكاسيدها ومخلوطاتها التي يصعب تركيزها وغالبا ما تحتوي هذه الخامات على النحاس الفطري (الاولي). واهم مساوئ طريقة النض هي فقدان المعادن الثمينة. والمواد الكاشفة (Reagents) المستخدمة في عملية النض تكون عادة من حامض الكبريتيك واملاح الالمنيوم. وبين المخطط الاتي تتابع استخراج النحاس بهذه الطريقة باستخدام حامض الكبريتيك الشكل (1-7).



◀ 51 ▶

## 1-6 أنواع النحاس حسب طريقة التنقية :-

### 1. نحاس كاثودي الكتروليتي (Electrolytic Cathode Copper)

وهو نحاس منقى بطريقة التحليل الكهربائي. وينتج باستخدام صفيحة نحاسية توضع ككاثود في حوض يحتوي على محلول كبريتات النحاس. فعند مرور التيار الكهربائي بالمحلول يتم ترسب النحاس النقي على المهبط (الكاثود) كما مر ذكره، حيث يقشط ويستخدم كنحاس كاثودي (مهبطي). وتصل نقاوة هذا النوع من النحاس الى 99.9%. لذلك فهو يمثل مادة خام صالحة لانتاج معظم انواع النحاس وسبائكته. حيث يمكن اعادة صهره وسباكته ويستخدم في تطبيقات متعددة وقد يستخدم كما هو. ويمتاز بان قابليته على التوصيل الكهربائي قليلة نسبيا لاحتوائه على بعض الشوائب القليلة.

### 2. النحاس النقي المتين (Tough Pitch Copper)

وهو نحاس غير كامل الاختزال حيث تتراوح نسبة الاوكسجين فيه بين-0.03 ( % 0.06. وكلما انخفضت نسبة تواجد الاوكسجين فيه ازدادت قابليته على التشكيل والتشغيل. وتبلغ نقاوة هذا النوع من النحاس 95.99% و توصيلته الكهربائية هي نفس توصيليه النحاس القياسي العالمي المملدن (IACS) (International Annealed Copper Standard) وهي 100%. لذلك يستخدم في اسلاك نقل الطاقة بجميع انواعها ومن انواعه:

#### أ- النحاس اليكتروليتي النقاوة المتين (Electrolytic Tough Pitch Copper)

وهو نحاس كاثودي يعاد صهره ويترك ليكتسب بعض الاوكسجين خلال العملية. ويستخدم هذا المنتج لجميع الاجهزة الكهربائية والتي يتوجب فيها جودة للتوصيل، وفي هذه الحالة تتم السيطرة على نسبة الاوكسجين لتصل الى 0.04%. كمنتج ملدن له توصيلية تبلغ 100 IACS.

أ- نحاس متين منقى بالتسخين (Fire Refined Tough Pitch Copper) وينقى هذا النوع من النحاس بالفرن وبما ان العملية صعبة ومكلفة وقد لاتغطي التكاليف المصروفة فيها، فان هذا النوع من الخام وموقع استثماره يؤثران في اختيار هذه

الطريقة وعليه نلاحظ ان المنتج النهائي منه يمتاز بتوصيلية تبلغ 100 IACS في حالته الملدنة.

ج- النحاس النقي المتين الاعتيادي (Ordinary Tough Pitch Copper) ويلاحظ الاهتمام فيه لان نسب الشوائب والاكسجين اقل مما هي عليه في عمليات التنقية الاخرى فهو لا يستخدم في التطبيقات الكهربائية ولكنه يستخدم في تطبيقات هندسية اخرى فيصب في قوالب ليستخدم في تصنيع السبائك النحاسية المختلفة.

د- نحاس زرنيخي متين (Tough Pitch Arsenical Copper) ويحتوي هذا النوع على حوالي 0.04% زرنيخ وبإضافة الزرنيخ تنخفض قابليته على التوصيل الحراري ولكن تتحسن مقاومة الشد للمعدن إضافة الى تحسن مقاومة التآكل. ويمكن المحافظة على هذه التحسينات حتى درجة 300°C.

### 3. النحاس الخالي من الاوكسجين (Oxygen Free Copper)

يستخدم النحاس الخالي من الاوكسجين عندما يتطلب الاستخدام تحقيق توصيلية كهربائية مقدارها  $(58 \times 10^4 \text{ cm}^{-1} \cdot \Omega^{-1})$  في الحالة الملدنة (Soft) وهناك انواع من هذا النحاس وحسب طريقة التنقية:

#### 1-7 الشوائب في النحاس وتأثيراتها:

تختلف نسب هذه الشوائب من نوع الى اخر حسب طريقة الاستخلاص والتنقية ونوع الخام وموقع المنجم. وفيما يلي العناصر التي تظهر اثناء التحليل للانواع المختلفة من النحاس وبنسب لا تزيد على 0.1% من مكونات السبيكة.

أ- الفضة

لا تؤثر الفضة على توصيلية النحاس الكهربائية ولكن تزداد درجة حرارة التلدين كلما ازدادت نسبتها فيه. فتصل درجة حرارة ازالة الاجهاد الى 300 °C عندما تصل نسبة الفضة الى 0.1 % بينما يكفي لتحقيق نفس الهدف درجة حرارة 200°C وبنفس

الزمن عندما تكون نسبة الفضة اقل من ذلك. وتحسن الفضة قابلية النحاس على اللحام بالكاوية (Soldering).

ب- الكادميوم

له نفس تاثير الفضة اضافة الى انه يصلد المعدن ويحسن مقاومة الشد و الكسر (Fracture stress). ان وجوده % 0.8 من الكادميوم يخفض التوصيلية الكهربائية للمعدن لتصل الى % 95 من قيمته الاساسية في الحالة الملدنة. اما استخدامات النحاس الحاوي على الكادميوم، فيستخدم في التوصيلات الكهربائية بين المدن.

ج- التليريوم والسلينيوم

لهما نفس تاثير الفضة على درجة حرارة التلدين للنحاس ويضافان لتحسين قابلية المعدن على التشغيل اي لتحقيق سطح جيد مع دقة في القياسات حيث يعتبر ذلك من مميزات النحاس الحاوي عليهما. اما قابليته على التوصيل الكهربائي فتبلغ IACS % 90.

د- الكبريت

له نفس تاثير التليريوم تقريبا وهو الان مرغوب به من قبل معظم مستخدمي النحاس.

## 8-1 خواص النحاس Properties of Copper

سيتم التطرق هنا لاهم الخواص التي يتميز بها النحاس والتي سيرد تفصيلها لاحقا.

أ- مقاومة التاكل Corrosion Resistance:

يعتبر النحاس من العناصر النبيلة نسبيا ولكنه ليس كالذهب وبقية المعادن الثمينة من حيث تاثيره بالوسط المحيط به. يتميز النحاس بمقاومته للتاكل بصورة عامة ونظرا لتعدد انواع التاكل واسبابها فانه سيتم التطرق الى ذلك في فصل خاص بالتاكل وكيفية الحماية منه باستخدام العناصر السبيكة الملائمة.

ب- التوصيل الكهربائي والحراري (Thermal and Electrical Conduction)

يعتبر النحاس وكثير من سبائكه موصلات جيدة لنقل الطاقة الكهربائية والحرارية. فيخصص النحاس النقي بصورة رئيسة لهذه الاستخدامات. ولقد وجد ان زيادة عناصر



السبك في النحاس تؤدي الى انخفاض توصيلية المعدن للكهربائية. وبما ان هذه العناصر تختلف من نوع الى اخر من حيث قابليتها على الذوبان في النحاس او حجمها الذري او تكافؤها... الخ فان درجة تأثيرها على الخواص الكهربائية تختلف ايضا. حيث ان تكون مركبات معدنية من جراء التفاعلات الكيميائية او التذوب في الحالة الصلبة قد يؤدي الى تغيير في التوصيلية الكهربائية. كما ان قيمة التوصيلية الكهربائية تتأثر بنوع المعاملات الحرارية وعمليات التشكيل التي يتعرض المعدن لها. والجدول (8-1) يبين تأثير بعض العناصر السبكية ومقدار ما يحتويه النحاس من الاوكسجين على التوصيلية الكهربائية له. كما يوضح الشكل (8-1) تأثير بعض العناصر السبكية في مقاومة النحاس، والمقاومة هي معكوس التوصيلية.

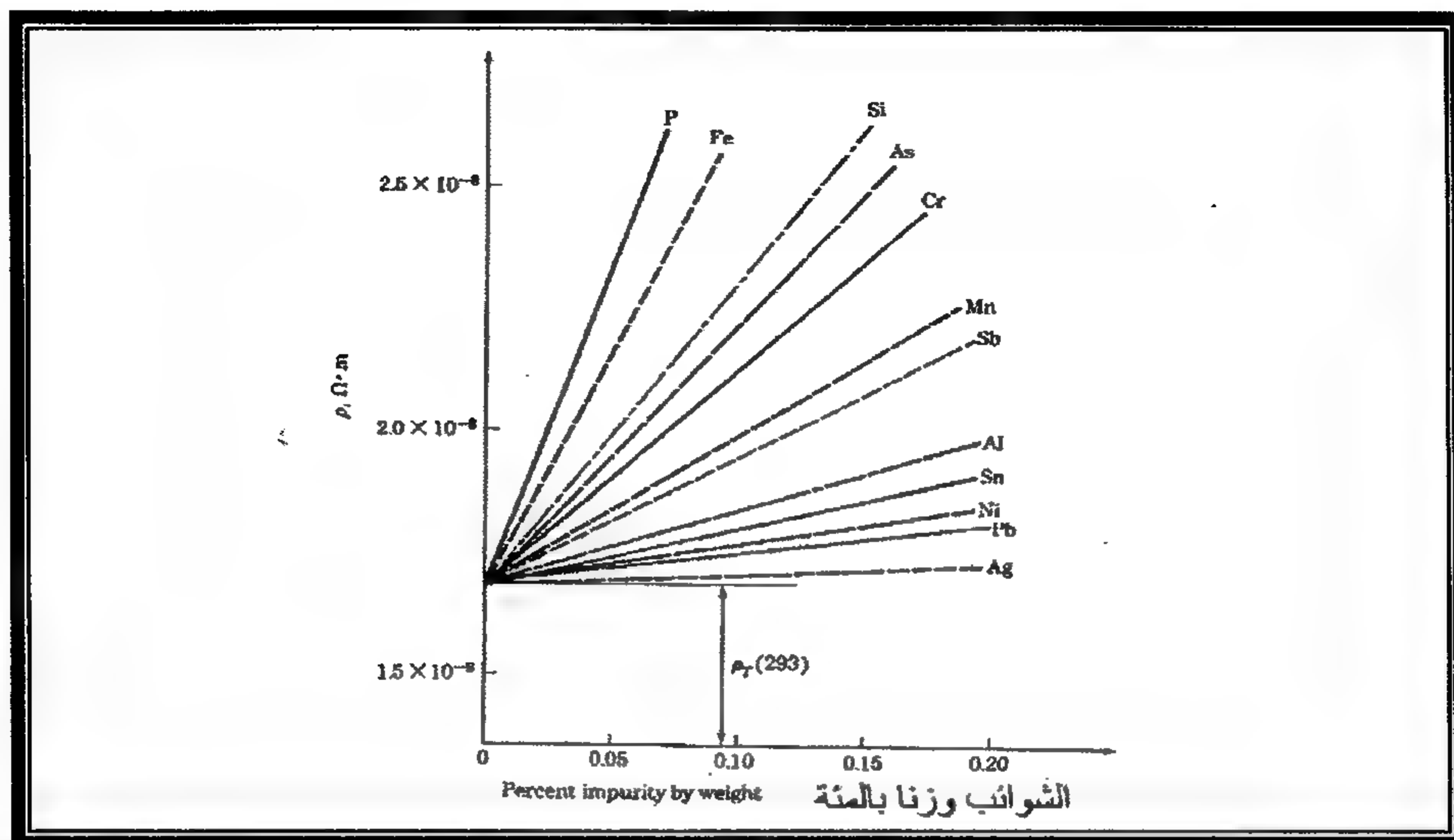
#### الجدول (8-1)

يبين تأثير بعض العناصر السبكية ومحتوى الاوكسجين على توصيلية النحاس بمقياس IACS.

محتوى النحاس من الاوكسجين ppm(O <sub>2</sub> )	مقدار العنصر في النحاس ppm	الانخفاض في التوصيلية (%) حسب نظام IACS
350	5 رصاص (Pb)	0.1
450	5 رصاص (Pb)	0.12
400-350	5 انثيمون (Sb)	0.15
400-350	10 زرنيخ (As)	0.20
400-350	10 نيكل (Ni)	0.10

ومن الجدير بالذكر فان التوصيلية الكهربائية (Electrical Conductivity) للمعادن تختلف من واحد الى اخر. والجدول (9-1) يبين نوع المعدن او السبكية ومقدار التوصيلية بنظام (IACS) حيث يحتل النحاس القياسي العالمي المعدن (IACS) (International Annealed Copper Standard) القيمة 100%. اما توصيلية النحاس الخالي من الاوكسجين (OFHC) فقد تصل الى أكثر من IACS 100%.





### الشكل (8-1)

بين تأثير عناصر السبك على مقاومة النحاس.

ج- سهولة التشكيل (Ease of Fabrication):

يظهر النحاس وسبائكه بصورة عامة قابلية تشكيل عالية ومن ثم امكانية الحصول على القياسات والابعاد المطلوبة وبمختلف الطرائق الصناعية المعروفة كالدهو (الدرفلة) (Rolling) والطرق (Forging) والبثق (Extrusion) والسحب (Drawing) والسحب العميق (Deep Drawing) والتخريم (Punching). اضافة الى انه يمكن ان ينعم (Grinding) ويصقل (Polishing) ويصفح (Plating) ويطلّى (Coating) ولذا يمكن اجراء مدى واسع من العمليات الصناعية ولمختلف الاستخدامات. وتقسم عمليات التشكيل الى:

1- التشكيل على البارد (Cold Working). وتشمل عمليات السحب والدحو (الدرفلة) والسحب العميق... الخ. والتي ترتفع جرائها مقاومة الشد (Tensile Strength) للمعدن ومقاومة الخضوع (Yield Strength) والصلادة (Hardness) وحسب مقدار التشكيل ونوعه.

### الجدول (9-1)

يبين قيم المقاومة والتوصيلية لبعض المعادن والسبائك الشائعة الاستخدام مقارنة مع توصيلية النحاس القياسي العالمي المملدن (IACS) والتي تساوي 100%.

المعدن او السبيكة	المقاومية $10^{-6}(\text{cm. } \Omega)$	التوصيلية (IACS%)
الفضة	1.63	105
النحاس المملدن	1.72	100
الذهب	2.44	70
الالمنيوم	2.82	61
سبيكة الالمنيوم 6061-T6	4.1	42
سبيكة الالمنيوم 7075-T6	5.3	32
سبيكة الالمنيوم 2024-T4	5.2	30
المغنيسيوم	4.6	37
النحاس الاصفر (70-30)	6.2	28
برونزيات الفسفور	16	11
سبيكة المونيل (Monel)	48.2	3.6
الزركونيوم	50	3.4
زرك ألوي-2 (Zircaloy-2)	72	2.4

3.1	54.8	التايتينيوم
1.00	172	سبيكة Ti-6Al-4V
2.5	70	الفولاذ المقاوم للصدأ 304
1.7	98	إنكونيل-600 (Inconel-600)
1.5	115	هاستيلاوي X (Hastelloy X)
1.4	123	واسبالوي (Waspaloy)

2- التشكيل على الحار (Hot Working). تجرى عمليات التشكيل على الحار للمعادن عند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة اعادة التبلور (Recrystallization temp.) وذلك للاحتفاظ بمطيليتها (Ductility) وعدم فشلها اثناء التشكيل. ويمكن تحقيق نسبة تشكيل على الحار للمعدن اكبر مما هي عليه في عمليات التشكيل على البارد، حيث ان عملية واحدة يمكن ان تحل محل عدد من عمليات التشكيل على البارد والتلدين من اجل تحقيق قياس محدد. كما يصل مقدار الحجم الحبيبي (Grain size) قبل التشكيل على الحار (للمصبوبة) حوالي (1-10 mm) والذي يمكن تقليله الى حوالي (0.07-0.2mm) بواسطة عمليات التشكيل على الحار. حيث ينتج من هذه العمليات معدن طري (Soft) ليتقبل بعد ذلك عمليات التشكيل على البارد اللاحقة. تقل مقاومة ومتانة (Toughness) المعدن كلما كبر الحجم الحبيبي (البلوري).

#### د- الخواص الكيميائية والفيزيائية للنحاس:

النحاس معدن لامع احمر اللون ضارب الى البني. بنيته البلورية هي المكعب متمركز الوجه (fcc) (Face Centered Cubic)، وسيتم التطرق الى البنية البلورية بشكل اوسع نسبيا لاحقا، وكثافته ( $8.9 \text{ g/cm}^3$ ). اما درجتي انصهاره وغليانه فيبلغان  $1083^\circ\text{C}$  و  $2360^\circ\text{C}$  على التعاقب. وهو اما ثنائي او احادي التكافؤ في مركباته. فعلى سبيل المثال، يكون ثنائيا في كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) و أحاديا في كبريتيد النحاس ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ).

الجهد الكهربائي الكيمياوي لايونات النحاس موجب،



ولهذا السبب لايجل النحاس محل الهيدروجين في الحوامض بل يذوب فيها فقط عند وجود عامل مؤكسد، ولا يتفاعل النحاس مع المحاليل القاعدية، ومن املاحه الزاج الازرق او كبريتات النحاس المائية ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) والتي تستخدم في الكيمياء ودباغة الجلود وصناعة الفرو والحرير الاصطناعي الى جانب مواد الصباغة.

هـ- اكسدة واختزال النحاس Oxidizing and Deoxidizing of Copper

يقترن تاكسد النحاس في الهواء بتكون طبقة خضراء من كربونات النحاس المائية وكبريتات النحاس، هذا عند درجة حرارة الغرفة. اما عند درجات الحرارة العالية فيكتسب النحاس طبقة سوداء هي عبارة عن اوكسيد النحاسيك، وعند تاكسده ببطء اي عند درجات حرارة ليست بالعالية (متوسطة) فتكسوه طبقة لامعة قرمزية من اوكسيد النحاسوز  $\text{Cu}_2\text{O}$ . ان ضغط التفكك لاوكسيد النحاسيك  $\text{CuO}$  يساوي ضغط الاوكسجين في الهواء عند درجة حرارة  $940^\circ\text{C}$  تقريبا. ويتاكسد النحاس عند درجات الحرارة التي تزيد عن ذلك الى اول اوكسيده. والاخير قابل للذوبان في منصهر المعدن. ويقوم اوكسيد النحاسوز  $\text{Cu}_2\text{O}$  بدور قاعدة ضعيفة في حالات الصهر الميتالورجي. حيث يكون سليكات ومركبات اخرى مع الاكاسيد الحامضية. ويتحد النحاس مع الكبريت مكونا كبريتيد النحاسيك وكبريتيد النحاسوز. ويتحلل الاول، على سبيل المثال، في درجات الحرارة العالية حسب التفاعل الاتي:



واكاسيد النحاس سهلة الاختزال عند وجود كمية من اول اوكسيد الكربون قد لا تزيد نسبتها عن 1.0% في خليط من اول وثاني اوكسيد الكربون.



## الفصل الثاني

### سبائك النحاس





## الفصل الثاني

### سبائك النحاس

#### 1-2 المقدمة:

من المعلوم ان هناك عدة غايات لتسبيك المعدن اي أشابته بمعدن اخر. ويمكن تلخيص هذه الاسباب بالاتي:

- 1- لتحسين الخواص الميكانيكية كالمقاومة الميكانيكية والصلادة والمطيلية وحد الكلال (Fatigue limit) ومقاومة الزحف.....الخ.
- 2- لتحسين الخواص السطحية، على سبيل المثال، مقاومة التاكسد والتاكل والبلي والاحتكاك.
- 3- لتحسين الخواص الاخرى كالتوصيلية الحرارية والكهربائية والمغناطيسية و الضوئية، اضافة الى الكثافة واللون...الخ.
- 4- الاسباب الاقتصادية مثل الكلفة والتوفر.

نعني بالسبيكة هنا هي المادة المعدنية المتكونة من اكثر من معدن او عنصر. اما بنية السبيكة المجهرية فقد تتكون من طور واحد او عدة اطوار. والطور (phase) هو جزء او اجزاء من السبيكة لها نفس الخواص والبنية البلورية. فقد يكون الطور محلولاً جامداً لعنصر او مركب في اخر او يكون مركباً كيميائياً بين عناصر السبيكة او قد يكون مادة نقية. يعتمد مقدار ذوبانية عنصر في اخر في الحالة الصلبة على ما يلي:

- 1- البنية البلورية لكل عنصر.
- 2- الحجم الذري لكل عنصر.
- 3- الخواص الكهروكيميائية لكل عنصر، اي على ميل كل عنصر للاتحاد مع الاخر وحسب موقعه في الجدول الدوري.
- 4- تكافؤ كل عنصر.

ولتوضيح انواع البنى البلورية والتي تستخدم في المقارنة بين الانواع المختلفة من السبائك، حيث يتم تحديدها وتحليلها باستخدام تقنية حيود الاشعة السينية (X-ray diffraction technique) وذلك من حيث نوع الخلية البلورية وعدد الذرات فيها وطول اضلاعها والزوايا بينها. يمكن تقسيم هذه البنى الى اربعة عشر نوعا لكل المواد البلورية سواء كانت معدنية او سيراميكية لكن ما يهمنا هنا (بالنسبة للنحاس وسبائكه) ثلاثة انواع فقط هي:

### 1- بنية المكعب المتمركز الجسم (Body Centered Cubic) BCC

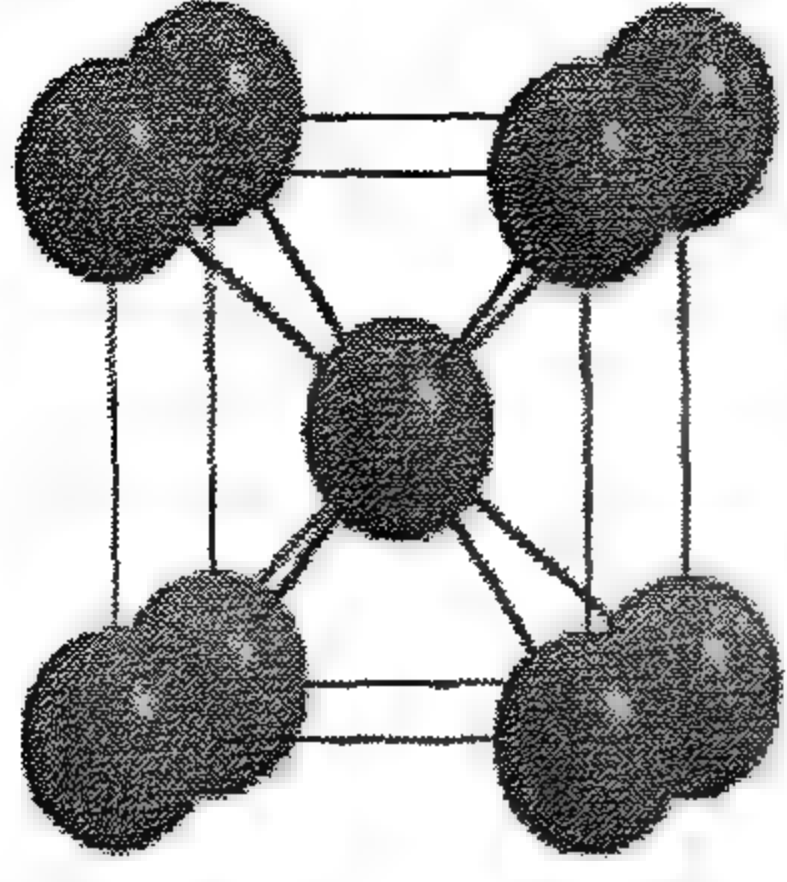
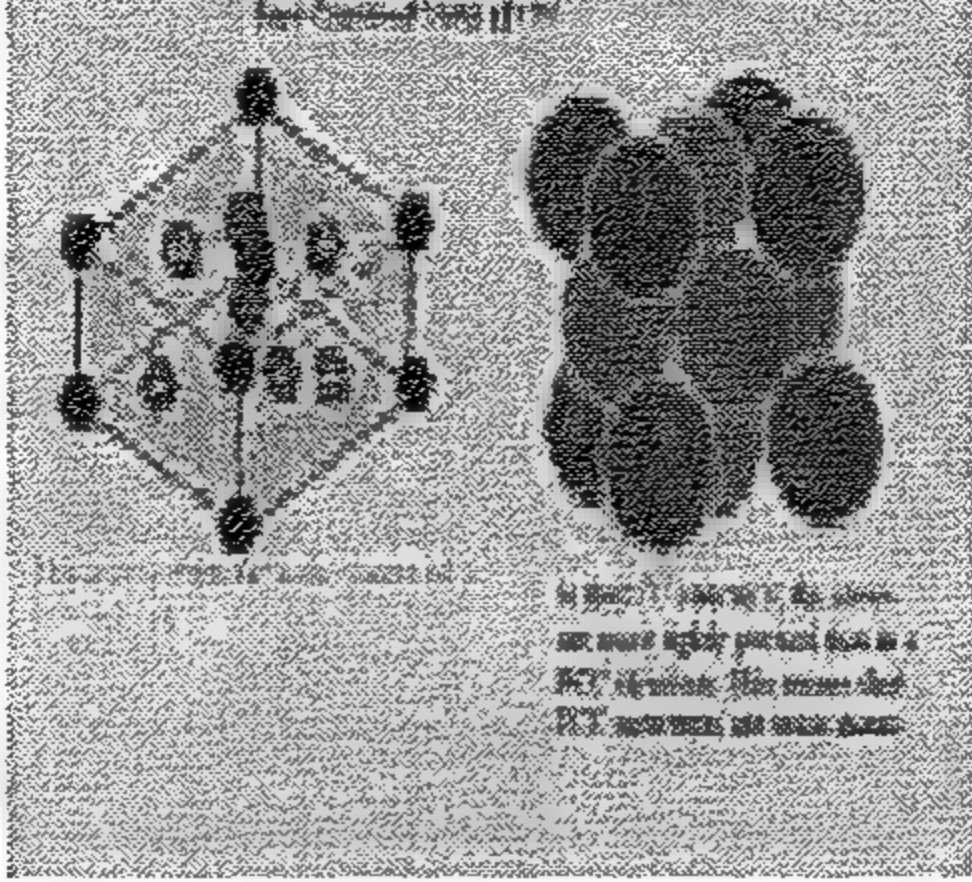
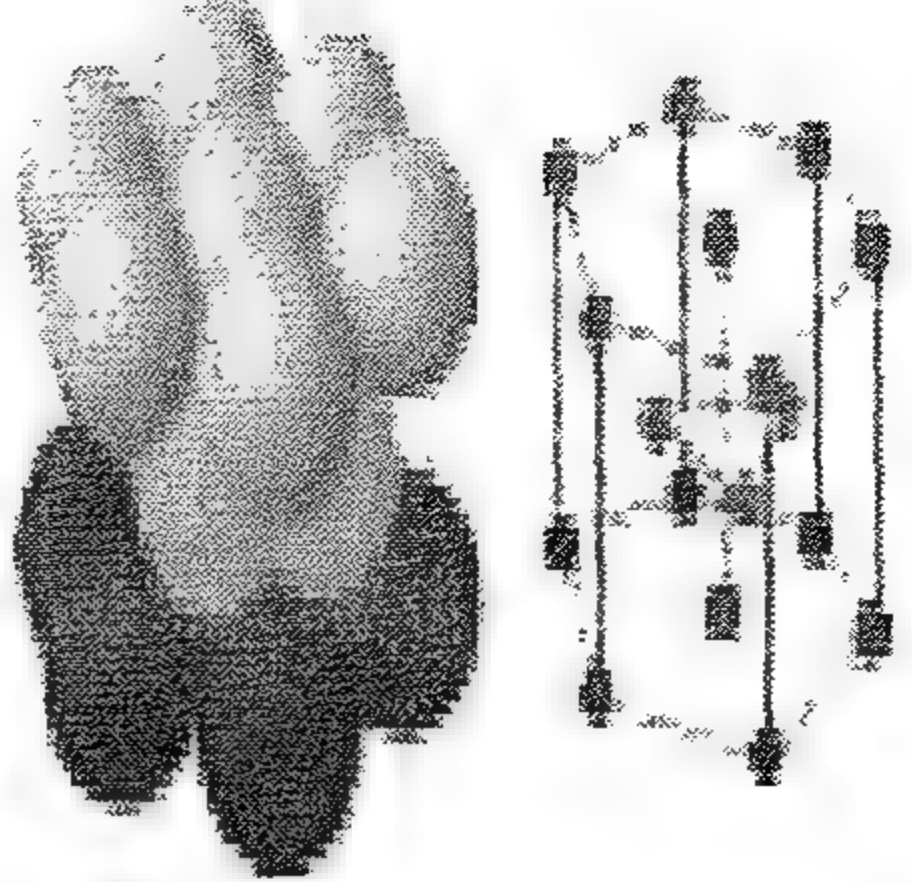
تتوزع الذرات، التي يفترض ان تكون على شكل كرات، على زوايا (رؤوس) المكعب الثمانية وواحدة في مركز المكعب. حيث تشترك كل من تلك الذرات التي في الزوايا مع ثمانية مكعبات مجاورة مماثلة وعليه تكون كل ذرة عند الراس تشترك بثمن حجمها فقط في كل خلية. وعليه يكون العدد الفعلي للذرات في كل وحدة خلية (مكعب) من هذا النوع هو (2).

### 2- بنية المكعب المتمركز الوجه (Face Centered Cubic) FCC

تتوزع الذرات في هذا النوع على الزوايا بنفس الطريقة السابقة ولكن لا توجد ذرة في مركز الخلية وبدلا عن ذلك توجد ذرة واحدة في مركز كل وجه من اوجه المكعب ولهذا سمي بالمكعب متمركز الوجه. وكل ذرة في مركز الوجه تشترك بنصف حجمها في تلك الخلية. وعليه يكون عدد الذرات الفعلي في الخلية هو (4).

### 3- بنية السداسي المتراص او المكتظ (Hexagonal Closed Packed) HCP

تتوزع الذرات في هذا النوع على زوايا القاعدتين السداسيتين ومركزيهما اضافة الى ثلاث ذرات اخرى داخل الخلية السداسية موزعة في مستوى واحد يقع في وسط المسافة بين القاعدتين. اما عدد الذرات الفعلي لكل خلية فهو (6). والشكل (1-2) يبين توزيع الذرات في الاشكال الثلاثة انفة الذكر.

		
<p>بنية المكعب المتمركز الجسم</p>	<p>بنية المكعب المتمركز الوجه</p>	<p>بنية السداسي المتراص</p>

الشكل (1-2)

### البنى البلورية الاساسية الثلاث للسبائك المعدنية

ومن الجدير بالذكر ان البنية البلورية للنحاس هي المكعب المتمركز الوجه (FCC). اما الخارصين فله بنية السداسي المتراص (HCP)، على سبيل المثال، في حين ان الكروم ياخذ بنية المكعب المتمركز الجسم (BCC).

### 2-2 تصنيف سبائك النحاس :

صنفت سبائك النحاس في الولايات المتحدة بموجب المواصفات التي اعتمدت من قبل جمعية تطوير النحاس CDA (Copper Development Association). وقد اعتمد في هذا النظام الارقام من C10100 الى C79900 لتعيين السبائك القابلة للتشكيل (wrought alloys) والارقام من C 80000 الى C 99900 لتعيين السبائك المسبوكة. يبين الجدول (1-2) تصنيف مجموعات السبائك الاساسية. اما الجدول (2-2) فيدرج التكوين الكيميائي والخواص الميكانيكية النموذجية والتطبيقات لبعض سبائك النحاس المختارة اضافة الى تأثير ظروف السبيكة نفسها.



## الجدول (1-2)

تصنيف سبائك النحاس بموجب نظام جمعية تطوير النحاس (CDA).

الصنف	السبيكة
السبائك القابلة للتشكيل	
C1xxxx	النحاس وسبائك النحاس العالي*
C2xxxx	سبائك النحاس - خارصين (البراص)
C3xxxx	سبائك النحاس - خارصين - رصاص (البراص الرصاصي)
C4xxxx	سبائك النحاس - خارصين - قصدير (البراص - القصديري)
C5xxxx	سبائك النحاس - قصدير (برونزيات القصدير)
C6xxxx	سبائك النحاس - المنيوم (برونزيات الألمنيوم) وسبائك النحاس - سليكون (برونزيات السليكون) وأنواع مختلفة من سبائك النحاس - خارصين
C7xxxx	سبائك النحاس - نيكل وسبائك النحاس - نيكل - خارصين (فضيات النيكل)
السبائك المسبوكة (المصبوبة)	
C8xxxx	نحاس مسبوك وسبائك النحاس العالي المسبوكة وسبائك براص مسبوكة متنوعة. وسبائك برونزيات المنغنيز وسبائك نحاس - خارصين - سليكون مسبوكة.
C9xxxx	سبائك النحاس - قصدير مسبوكة وسبائك النحاس - رصاص - قصدير المسبوكة وسبائك النحاس - نيكل وسبائك النحاس - المنيوم - حديد وسبائك النحاس - نيكل - حديد وسبائك النحاس - نيكل - خارصين المسبوكة.

\* يقصد بالنحاس هي السبيكة التي تحتوي على % 99.3 نحاس او أعلى من ذلك  
اما سبائك النحاس العالي فهي السبائك التي تحتوي على اقل من % 99.3 نحاس لكن  
اعلى من % 96 ولا تدخل ضمن اي من مجموعات سبائك النحاس الاخرى.

## جدول (2-2)

الخواص الميكانيكية النموذجية لسبائك النحاس وتطبيقاتها. أ- السبائك المشكلة والملدنة

رقم السبيكة	التكوين الكميائي wt %	ظروف السبيكة	مقاومة الشد MPa	مقاومة الخصوع MPa	المطيلة %	التطبيقات النموذجية
C 10100	99.99 Cu	ملدنة	220	69	45	التوصيلات الكهربائية، ادلة الموجة، والموصلات المجوفة، أقطاب المصعد، اسلاك
		مشكلة على البارد	345	310	6	التوصيل، سدادات اجهزة التفريغ، اجزاء الترانزستور، وصل المعادن بالزجاج، الكابلات المحورية، مقومات التيار....الخ
C11000 (ETP)	99.9 Cu 0.04 O	ملدنة	220	69	45	مواد التسقيف، الحشيات، الميازيب، مشعات الحرارة في السيارات، قضبان
		مشكلة على البارد	345	310	6	التوصيل، المسامير، أسطوانات الطباعة، البراشيم و اجزاء الراديو.
C26000	70Cu-30Zn	ملدنة	325	105	62	لب المشعات الحرارية والخزانات، اغلفة الانوار الومضية، مثبتات المصابيح، ادوات
		مشكلة على البارد	525	435	8	التثبيت والربط، الاقفال، المفصلات، اجزاء المعدات الحربية، ملحقات ادوات الصرف الصحي، الدبابيس والبراشيم
C28000	60Cu- 40Zn	ملدنة	370	145	45	مستلزمات معمارية، الصامولات الكبيرة



واللواكب، قضبان لحام المونة، صفائح المكثفات وانايبها، المبادلات الحرارية، الطرق الحار	10	345	485	مشكلة على البارد		
المنفاخ، انايبب اجهزة الضغط، الفتحات القزحية، المشابك، ادوات التثبيت، فلكات القفل (Lock Washers) ، النوابض، اجزاء المفاتيح الكهربائية، دبابيس الورق، الصمامات، اجهزة اللحام	60	190	410	SHT*	97.5Cu ،1.7Be 0.20Co	C17000
	4	1070	1240	،SHT ،CW PH*		
صامولات، لوابب، الاجزاء الخيطية والدقيقة، اوعية الخزانات المقاومة للتاكل، الاجزاء الانشائية، اجزاء المكائن، انايب التكييف والانظمة الانبوبية، الواقيات البحرية تثبيتها وتغليفها.	40	275	550	ملدنة	95Cu ،7Al ،2Fe	C61400
	32	415	615	مشكلة على البارد		
مبادلات شبكة التلفون،المكثفات وصفائحها،النوابض الكهربائية، انايب المبادلات الحرارية والمبخرات، حلقات الوصل، المقاومات.	36	125	380	ملدنة	70Cu ،30Ni	C71500
	3	545	580	مشكلة على البارد		
ب-السبائك المسبوكة						
الموصلات الكهربائية والحرارية، تطبيقات مقاومات التاكل والاكسدة	40	60	172	كمسبوكة	99.75Cu	C80500
الات السلامة، قلوب الاجزاء البلاستيكية، الكامات، بطانات معدنية، مرتكزات،صمامات اجزاء المضخات،	20	255	497	كمسبوكة	96.4Cu ،1.7 Be ، 0.25 Co	C82400
	1	966	1035	معالجة حراريا		

المستندات						
الصمامات، الشفاه (flanges) لاحكام تثبيت المواسير، معدات الصرف الصحي، مسبوكات المضخات، دفاعات مضخات الماء واغطيتها، المستندات الصغيرة.	30	117	255	كسبوكة	85Cu ، 5Sn ، 5Pb ، 5Zn	C83600
المرتكزات، الاحزمة الناقلة، دفاعات، اجزاء الصمامات و المضخات، اجزاء التثبيت البحرية، مسبوكات مقاومة للتآكل.	30	172	379	كسبوكة	89Cu ، 4Si	C87200
مرتكزات، بطانات معدنية، دفاعات المضخات، حلقات المكبس، اجزاء الصمامات، حلقات السد لسد تسريب بخار الضغط العالي، مستندات.	30	145	310	كسبوكة	93Cu ، 8Sn ، 4Zn	C90300
المرتكزات، المستندات، اللوالب، بطانات معدنية لتجليس الصمامات وادلتها، مشابك التنظيف بالحامض.	18 8	242 373	586 725	كسبوكة معالجة حراريا	85Cu ، 4Fe ، 11Al	C95400
الصمامات، ابدان المضخات، الشفاه (التشويرات)، المفاصل المستخدمة لمقاومة تآكل ماء البحر	28	255	469	كسبوكة	69Cu ، 30Ni ، 0.9Fe	C96400

\*SHT = معالجة حرارية محلولية

CW = مشكلة على البارد

PH = مصلدة بالترسيب

وهناك تصنيف اخر لسبائك النحاس وذلك حسب المواصفة الالمانية ( DIN )  
1787 فقد اعتمدت هذه المواصفة اسلوبا اخر في تصنيف انواع النحاس وسبائكه ونسب  
بعض العناصر المحددة لنوع السبيكة. وكما مبين في الجدول (2-3).

### جدول (2-3)

انواع النحاس وتكوينها الكيميائي بموجب المواصفة DIN 1787 وما يكافئ ذلك في نظام  
( ISO )، على سبيل المثال.

نوع النحاس	الرمز	التكوين الكيميائي %wt	المكافئ وفق نظام ISO
نحاس حاوي على الاوكسجين (oxygen containing copper)	E-Cu58	$Cu \geq 99.9$	Cu-ETP
	E-Cu57	$O_2(0.005-0.040) \%$ = = = =	Cu-FRHC Cu-ETP Cu-FRHC
نحاس خالي من الاوكسجين (غير مختزل)	OF-Cu	$Cu \geq 99.95$	Cu-OF
نحاس خالي من الاوكسجين ( مختزل بالفسفور)	SE-C	$Cu \geq 99.9$ $P \approx 0.003$	لا يوجد ما يقابله في ISO
نحاس خالي من الاوكسجين ( مختزل بالفسفور)	SW-Cu	$Cu \geq 99.9$ $0.005 < P < 0.014$	Cu-DLP
	SF- Cu	$Cu \geq 99.9$ $0.015 < P < 0.04$	Cu-DHP

## 3-2 انواع سبائك النحاس:

ويمكن ان تقسم السبائك النحاسية الى اربعة انواع رئيسة هي:

1- البراص Brasses

2- البرونز Bronzes

3- نحاس - نيكل Cu-Ni

4- سبائك اخرى

### 1- البراص او النحاس الاصفر:

يسمى النحاس الاصفر ايضا بالشبه او الصُّفَر. وتستعمل كلمة براص بصورة عامة للتعبير عن سبائك النحاس مع الخارصين. حيث تختلف السبيكة باختلاف نسبة الخارصين فيها اختلافا كاملا في الخواص الفيزيائية والكيميائية. وقد تحتوي سبائك البراص على عناصر اخرى بنسب مئوية صغيرة كالرصاص والقصدير والمغنيسيوم والالمنيوم والسليكون والحديد وغيرها. ولكي تبقى السبيكة محتفظة باسم البراص فيجب ان لا تزيد نسب اي من العناصر فيها على نسبة الخارصين والتي تكون اقل من نسبة النحاس. ويمكن تلخيص ذلك بما يلي:

البراص = نحاس + خارصين + عناصر اخرى (ان وجدت)

ويشترط ان تكون نسبة النحاس < نسبة الخارصين < نسبة العناصر الاخرى.

وبناء على ذلك فان سبيكة البراص تكون اما ثنائية (نحاس + خارصين) او متعددة العناصر وتتكون من النحاس والخارصين وعنصر واحد او اكثر. يضاف الى ذلك وفي كلا الحالتين احتمال وجود شوائب لا تزيد نسبة كل منها على 0.1% وذلك من خلال وجودها في المواد الخام او من خلال عمليات السباكة. وكمثال على السبائك الثنائية سبيكة البراص (30-70) اي 70% نحاس و30% خارصين اما السبائك المتعددة العناصر كما في سبيكة براص 58 رصاص (سبيكة ثلاثية) فتكون من 58% نحاس و2.5% رصاص والمتبقي خارصين.

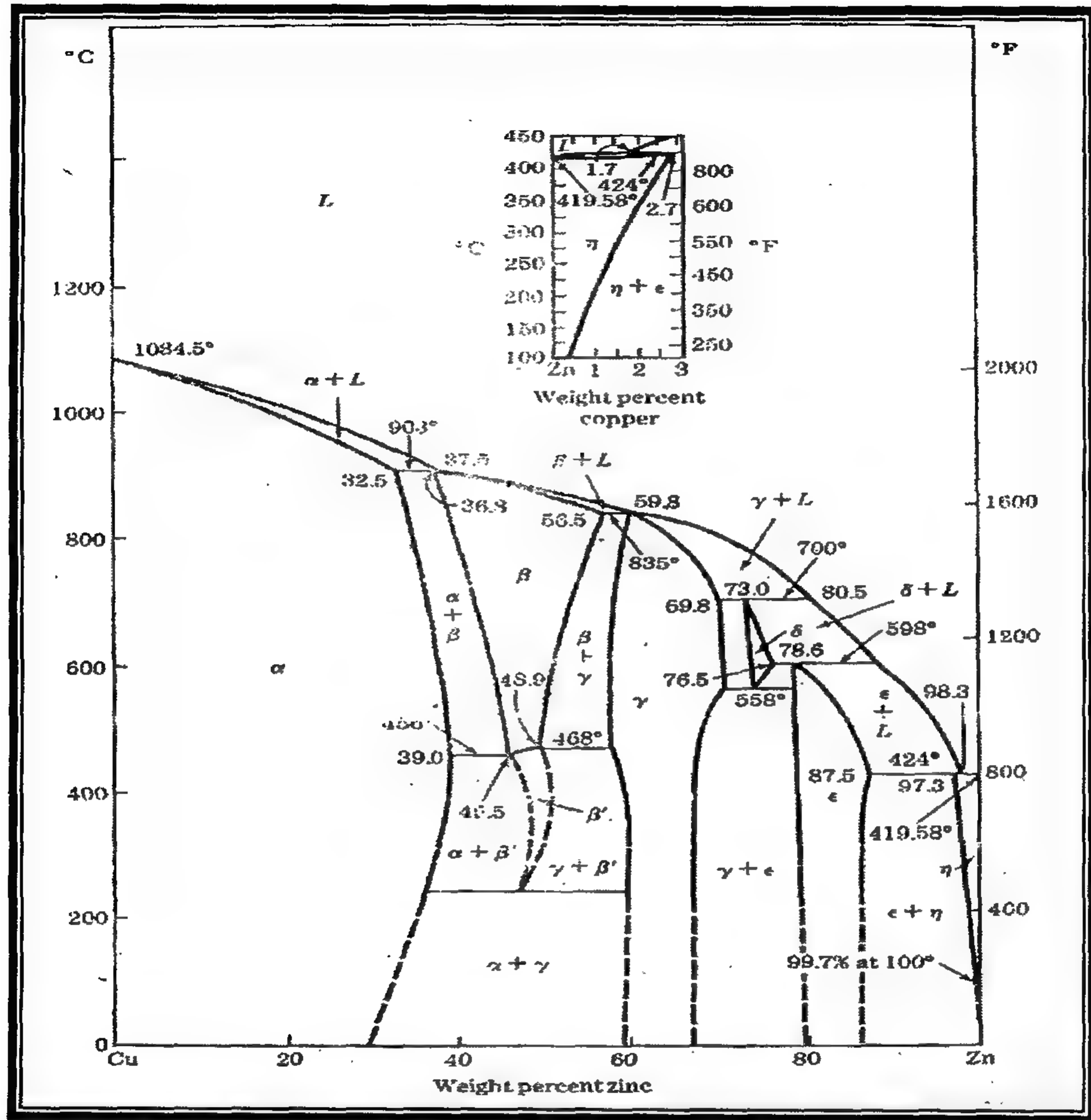
وهناك تقسيم آخر للبراص على اساس عدد الاطوار الموجودة في السبيكة. فالسبيكة (30-70) هي براص احادي الطور وهي احدى سبائك النحاس المشهورة وهي متكونة من الطور الفا فقط (  $\alpha$  - phase ) كما في الشكل (2-2). ومن السبائك المتعددة الاطوار سبيكة البراص (40 - 60) اي 60% نحاس و40% خارصين، وهي تحتوي على طورين الفا وبيتا (  $\alpha$  - phase +  $\beta$  - phase ) في بنيتها الدقيقة. يبين الشكل (2-2) مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس - خارصين (Equilibrium phase Diagram of Cu-Zn System) حيث تظهر جميع الاطوار المحتملة وعند مختلف الظروف.

والشكل (2-3) يبين الجزء الاكثر اهمية في نظام النحاس - خارصين مع البنى البلورية والدقيقة للاطوار المتكونة عند مختلف الظروف. اضافة الى تسميات السبائك. وكذلك يشير الشكل الاخير الى مديات التشكيل على الحار والبارد والتي سيرد ذكرها مفصلا فيما بعد. ان الاطوار التي تظهر في هذه السبائك المبينة في المخطط الطوري هي:

#### 1. الطور الفا $\alpha$ - phase

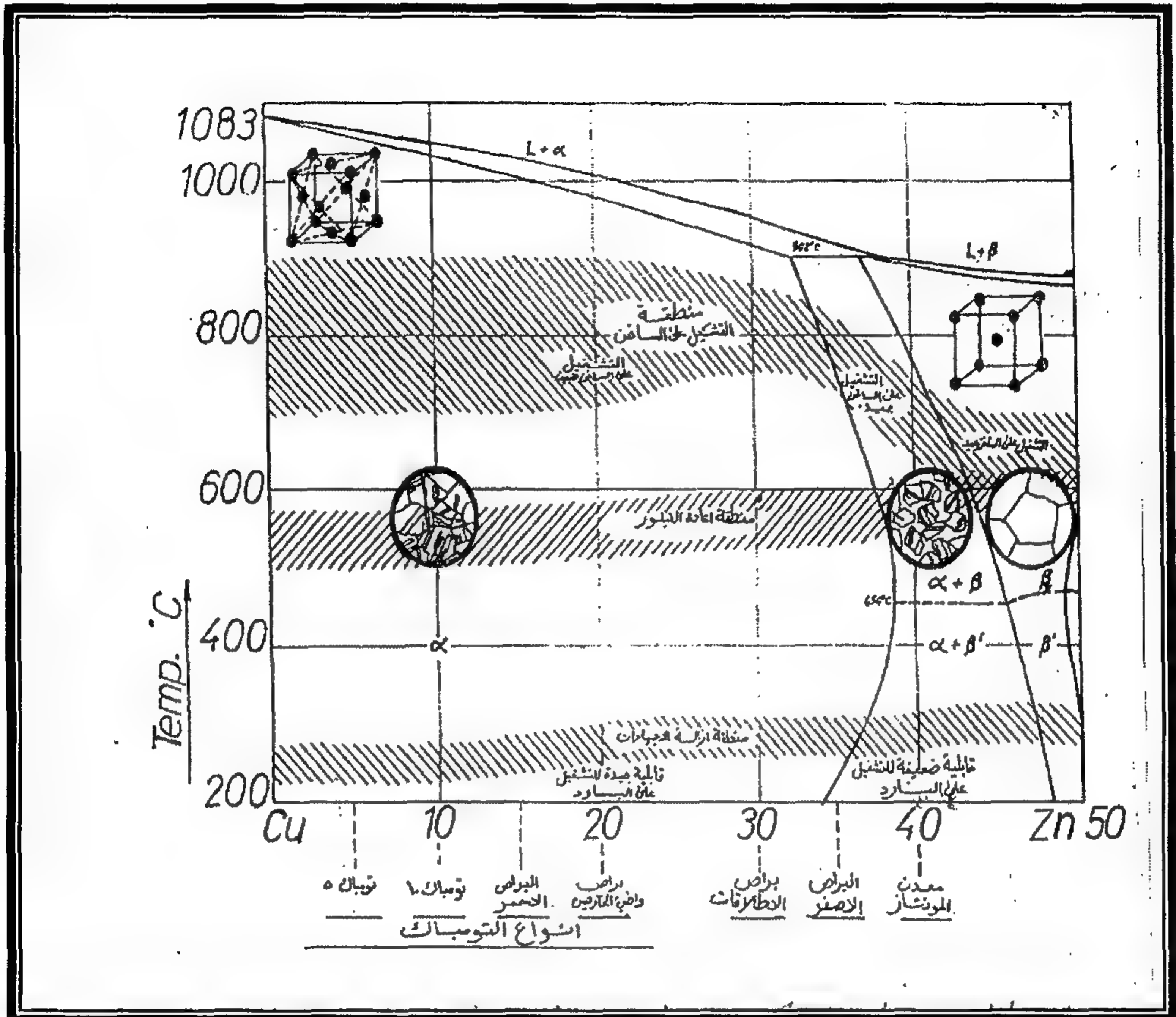
وهو عبارة عن محلول جامد (Solid Solution) من الخارصين في النحاس وبنيته البلورية هي المكعب المتمركز الوجه (FCC). والمحلول الجامد هذا هو محلول استبدالي اي تستبدل واحدة او اكثر من ذرات النحاس، في خلية المكعب المتمركز الوجه، بذرة او اكثر من ذرات الخارصين. ولو امعنا النظر في مخطط التوازن الطوري، يتضح أن الخارصين يذوب بنسبة تصل الى 33% عند درجة حرارة الغرفة والتي تزيد بارتفاع درجة حرارة السبيكة لتصل الى حوالي 38% عند  $450^{\circ}\text{C}$ ، لكنها تقل مرة اخرى بارتفاع درجة الحرارة حتى تصل قابلية ذوبان الخارصين في النحاس الى 32.5% تقريبا عند درجة حرارة  $900^{\circ}\text{C}$ .





الشكل (2-2)

مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس - خارصين.



الشكل (2-3)

مقطع مكبر من مخطط التوازن الطوري للنحاس - خارصين (وزنا بالمثل)، وعلية  
تأثيرات مفيدة.

## 2. طور بيتا $\beta$ -phase

وهو عبارة عن محلول جامد من الخارصين في النحاس ايضاً وبنيته البلورية هي  
المكعب المتمركز الجسم (BCC)، وتصل نسبة ذوبان الخارصين في النحاس لهذا الطور

عند مديات درجات الحرارة العالية بين ( 37 - 57 % ) من الخارصين وتكون عند درجات الحرارة المنخفضة في المدى ( 45 - 49 % ) من الخارصين.

3. الطور بيتا برايم  $\beta'$  - phase

ويمثل نفس الطور بيتا ولكنه ذو بنية اكثر انتظاما واستقرارا.

4. الطور كاما  $\gamma$  - phase

وهو طور ذو بنية معقدة وعليه يكون ذو تناظر بلوري منخفض.

وهناك اطوار اخرى ذات نسب خارصين عالية جدا مثل ايسلون ( $\epsilon$ ) وايتا ( $\eta$ ).

2- 3- 1 بنية البراص الثنائي Structure of Binary Brass

تكون بنية هذا النوع اما احادية الطور كالطور الفا او الطور بيتا، او ثنائية الطور (الفا + بيتا). وعند احتوائه على نسبة عالية من الخارصين يكون ثنائي الطور وقد يحتوي على الطور كاما في ارضية من الطور الفا. يمكن ان تزداد مقاومة وصلادة هذا النوع من السبائك بعمليات التشكيل على البارد. اما سبائك الطور بيتا او الطورين (الفا + بيتا) فهي غير قابلة للتشكيل على البارد وهي ايضا غير قابلة للتصليد بالمعالجات الحرارية المعروفة. ويجب المحافظة على حدود درجات حرارة التلدين وذلك لتجنب النمو البلوري (Grain growth).

تعتمد البنية المجهرية للسبيكة على التكوين الكيميائي ودرجة حرارة التلدين ومعدل التبريد، وبتغيير هذه الظروف يمكن الحصول على تراكيب او بنى مجهرية مختلفة وكما ياتي:

- التركيب (البنية) المجهري الاول:

التركيب المجهري للطور الفا ذو بلورات متعددة السطوح  $\alpha$ -Polyhedral Structure والذي يتكون بعد التبريد من  $700^{\circ}\text{C}$  ولجميع سرع التبريد في البراص عالي النحاس. ويمكن ايضا الحصول على هذه البنية بالتبريد بسرع قليلة (بالهواء) ومن درجات الحرارة العالية  $780-850^{\circ}\text{C}$  بين الشكل (2-4) هذه البنية.

## - التركيب (البنية) المجهري الثاني:-

التركيب المجهري للطورين الفا + بيتا برايم ذو بلورات متعددة السطوح ايضا. يمكن الحصول على هذه البنية بمجال واسع من درجات الحرارة وسرع (معدلات) تبريد. وتعتمد كمية طور بيتا برايم ( $\beta'$ ) على قيمتي درجة الحرارة ومعدل التبريد والشكل (2-2-5) يبين البنية المجهرية لهذه الحالة.

## - التركيب (البنية) المجهري الثالث:

وهي بنية الفا + بيتا برايم الابرية القوام مع بلورات الفا متعددة السطوح. ويمكن تحقيق هذه البنية تبريد البراص ذو البنية (الفا + بيتا) من درجات الحرارة العالية لينتج عنه تحول بلورات بيتا الى بيتا برايم ( $\beta'$ ) حول البلورات الفا ويتحول قسم اخر منها الى الطور الفا داخل البلورات فيتكون طور بيتا برايم يشبه الصفائح. ويبين الشكل (2-2-6) كيفية توزيع طوري الفا وبيتا برايم في هذه البنية.

## - التركيب (البنية) المجهري الرابع:

وهو التركيب او البنية الابرية للطورين الفا وبيتا برايم حيث يبين الشكل (2-2-7) بنية الطورين الابرية والتي تنتج عن التبريد السريع من درجة حرارة الطور بيتا ( $850^{\circ}\text{C}$ ). التركيب (البنية) المجهري الخامس:

وهو التركيب او البنية المتكونة من بلورات الفا الكبيرة الحجم مع بنية ابرية متكونة من الطورين الفا وبيتا برايم على محيط بلورات الفا. يتم الحصول على هذه البنية عند التبريد السريع (الاخماد) من درجة الحرارة  $780-850^{\circ}\text{C}$  وخصوصا في براص  $62\text{Cu}\%$  كما في الشكل (2-2-8).

يبين الجدول (2-2-4) اشهر سبائك البراص حسب تكوينها الكيميائي وبعض تطبيقاتها. كما ويبين الجدول (2-2-5) الخواص التشغيلية وقابلية التشكيل. في حين يبين الجدول (2-2-6) الخواص الفيزيائية لهذه السبائك. اما الجدول (2-2-7) فيدرج نفس الخواص الفيزيائية ولكن لسبائك البراص مع نسب مختلفة من الرصاص المضاف.





## 2-3-2 سبائك البراص الرصاصي (Leaded Brass)

يضاف الرصاص الى سبائك البراص لتحسين قابليتها على التشغيل بالخراطة والتفريز، وقد تصل نسبة الرصاص المضاف الى حوالى 4.5% وتختلف نسب الخارصين في هذه السبائك ضمن مدى واسع (10-45%). ان الحد الاعلى لذوبان الرصاص في البراص لا يزيد عن 0.1 % وبعده ينزل الرصاص على شكل كرات منفصلة عن بعضها، الى حد ما، وموزعة ضمن بنية البراص. فعند تشغيل البراص بالخراطة مثلاً تتكسر المناطق المحصورة بين كريات الرصاص وهذا يسهل عملية تشغيل المعدن وخلع النحاة (الرايش) بسهولة ليتم الحصول على سطح صقيل نسبياً.

<p>الشكل (2-4): بلورات متعددة السطوح من الطور ألفا</p>	
<p>الشكل (2-5): بلورات متعددة السطوح من الطورين ألفا (<math>\alpha</math>)، وبيتا برايم (<math>\beta'</math>) (بلورات <math>\beta'</math> سوداء)</p>	



<p>الشكل (2-6): بنية ابرية خليط من الطورين الفا (<math>\alpha</math>)، وبيتا برايم (<math>\beta'</math>) مع بلورات من الفا متعددة السطوح</p>	
<p>الشكل (2-7): بنية ابرية خليط من الطورين الفا وبيتا برايم</p>	
<p>الشكل (2-8): بلورات كبيرة من الطور الفا مع بنية ابرية من الطورين الفا + بيتا برايم بامتداد الحدود البلورية للطور الفا.</p>	

## جدول (2-4)

### التكوين الكيميائي وتطبيقات سبائك البراص

المواصفات والتطبيقات	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (%wt)									صنف السبيكة
	Zn	اخرى	P	Pb	Sn	Ni	Fe	Al	Cu	
جيدة جدا لاغراض التشكيل البارد وملائمة للطرق والتطبيقات الكهربائية	المبقي	≤0.1	0.05	≤0.05	0.05	0.2	0.05	0.02	94-96	CuZn5
	المبقي	≤0.1	0.05	≤0.05	0.05	0.2	0.05	0.02	89-91	CuZn10
جيدة جدا لاغراض التشكيل البارد وتستخدم صناعة الانابيب واجهزة قياس الضغط	المبقي	≤0.1	0.05	≤0.05	0.05	0.2	0.05	0.02	84-86	CuZn15
	المبقي	≤0.1	0.05	≤0.05	0.05	0.2	0.05	0.02	79-81	CuZn20
تستخدم في الصناعات العسكرية لقابليتها العالية على التشكيل البارد والسحب العميق وتستخدم في صناعة المشعات (Radiators)	المبقي	≤0.1	0.05	≤0.05	0.05	0.2	0.05	0.02	71-73	CuZn28
	المبقي	≤0.1	0.05	≤0.05	0.05	0.2	0.05	0.02	69-71	CuZn30
	المبقي	≤0.1	0.05	≤0.05	0.05	0.2	0.05	0.02	66-68.5	CuZn33
لها قابلية جيدة للحام وسحب عميق والتشكيل البارد.	المبقي	≤0.1	0.1	≤0.1	0.1	0.3	0.1	0.03	62-64	CuZn37

جيدة للتشكيل البارد ومتعددة الاستخدامات	النحاس	≤0.2	0.1	≤0.3	0.3	0.3	0.2	0.05	59.5-61.5	CuZn40
سبائك البراص الرصاصي لها قابلية عالية للتشغيل وملائمة للمخارط الاوتوماتيكية، جيدة لعمليات التشكيل البارد، لها نعومة عالية بعد التشغيل----الخ، ملائمة لجميع المقاطع والاشكال المبثوقة والمسحوبة. لها سطوح جيدة بعد التفريز والتقيب	النحاس	≤0.1	0.05	2.5-3.5	0.2	0.3	0.3	0.05	60-62	CuZn36 Pb3
	النحاس	≤0.1	0.05	1.5-2.5	0.1	0.3	0.2	0.05	62-64	CuZn36 Pb 2
	النحاس	≤0.2	0.05	0.5-1.5	0.2	0.3	0.3	0.05	59-63	CuZn38 Pb 1
	النحاس	≤0.2	0.05	1.0-2.5	0.2	0.3	0.4	0.1	58.5-60	CuZn39 Pb 2
	النحاس	≤0.2	0.05	1.0-2.5	0.3	0.4	0.4	0.1	57-59	CuZn40 Pb 2
	النحاس	≤0.4	0.05	1.0-2.5	0.4	0.5	0.5	0.5	54-56	CuZn44 Pb 2
	النحاس	≤0.4	0.05	1.3-2.5	0.3	0.7	0.1	0.5	87.5-90.5	CuZn9 P b 2



## جدول (5-2)

### الخواص التشغيلية لسبائك البراص

صنف السبيكة	درجة حرارة التشكيل الساخن °C	قابلية التشكيل على الساخن	قابلية التشكيل على البارد	نسبة الاختزال بين مراحل التلدين %	قابلية التشغيل بالحرارة والتلدين %*	قابلية لحام البراص		
						للحام بالكهربة (Soldering)	للحام بالولنة (Brazing)	للحام الاوكسي استلين Oxyacetylene
CuZn5	750-900	جيدة	ممتازة	90	25	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn10	750-900	جيدة	ممتازة	90	25	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn15	750-900	معتدلة	ممتازة	80	25	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn20	750-900	معتدلة	ممتازة	85	30	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn28	750-900	معتدلة	ممتازة	90	30	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn30	750-900	معتدلة	ممتازة	90	30	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn33	750-850	معتدلة	ممتازة	85	30	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn37	720-820	جيدة	جيدة	65	35	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn40	650-750	ممتازة	محدودة	40	45	ممتازة	جيدة	جيدة
CuZn9Pb2	775-885	محدودة	جيدة	75	80	ممتازة	جيدة	
CuZn30Pb2	700-800	معتدلة	معتدلة	50	75	ممتازة	جيدة	
CuZn36Pb3	700-775	معتدلة	محدودة	35	100	ممتازة	جيدة	
CuZn38Pb1	700-800	جيدة	معتدلة	25	70	ممتازة	جيدة	
CuZn39Pb2	650-775	ممتازة	محدودة	20	85	ممتازة	جيدة	
CuZn40Pb3	650-750	جيدة	محدودة	35	60	ممتازة	جيدة	
CuZn43Pb1	625-725	جيدة	محدودة	20	100	جيدة	معتدلة	

\* اخذت النسبة على اعتبار ان السبيكة CuZn36pb3 لها قابلية تشغيل تساوي % 100.

## جدول (2-6)

### الخواص الفيزيائية لبعض سبائك البراص

معدن	معدن الزرنيخ	الكثافة	التأثيرية	التوصيلية	التوصيلية	الحرارة	مكافئ التمدد	مدى درجة حرارة	الكثافة عند	صنف
النسبة المئوية	النسبة المئوية	الحرارة	الكهربائية	الكهربائية عند	الحرارة عند	النسبة المئوية عند	الحرارة	الانصهار (°C)	4°C	المبيكة
20°C	20°C	النسبة المئوية	20°C	20°C	20 °C	(20-300 °C)	°C <sup>-1</sup>		(g/cm <sup>3</sup> )	
GN/m <sup>2</sup>	GN/m <sup>2</sup>	°C <sup>-1</sup>	°C <sup>-1</sup>	m/Ω.mm <sup>2</sup>	cal/cm.S.C	cal/g.°C				
47	127	0.0023	3.1	32	0.56	0.09	0.000018	1055-1070	8.85	CuZn5
46	124	0.0019	3.9	26	0.45	0.09	0.000018	1025-1045	8.8	CuZn10
45	121	0.0016	4.7	21	0.39	0.09	0.000019	1000-1025	8.75	CuZn15
43	118	0.0015	5.4	14	0.33	0.09	0.000019	970-1010	8.65	CuZn20
41	114	0.0015	6.2	13	0.29	0.09	0.000020	910-965	8.55	CuZn28
41	114	0.0015	6.2	13	0.29	0.09	0.000020	910-965	8.55	CuZn30
40	112	0.0016	6.4	16	0.29	0.09	0.000020	902-940	8.5	CuZn33
39	109	0.0017	6.6	12	0.30	0.09	0.000021	902-920	8.45	CuZn37
38	104	0.0020	6.2	16	0.30	0.09	0.000021	895-900	8.40	CuZn40



## الخواص الفيزيائية لسبائك البراص الرصاصي

صنف السيكة	الكثافة g/cm <sup>3</sup>	مدى درجة حرارة الانصهار (°C)	مكافئ التمدد الحراري (20°C) °C <sup>-1</sup>	المساراة التوجيه عند (20°C) cat/g C°	التوصيلية الحرارية cal/cmS.C	المقاومة الكهربائية Ω.cm	الكثافي. الحراري للمقاومة الكهربائية °C <sup>-1</sup>	معبّر للزوة *GPa	معبّر الجسوء *GPa	التوصيلية الكهربائية m/Ω. mm <sup>2</sup>
CuZn9Pb2	8.8	1040-1010	0.000018	0.09	0.43	4.1	0.0018	118	43	24
CuZn36Pb2	8.5	885-910	0.000020	0.09	0.28	6.6	0.0015	101	37	15
CuZn36Pb3	8.5	885-900	0.000020	0.09	0.28	6.6	0.0015	100	36	15
CuZn38Pb1	8.4	885-900	0.000021	0.09	0.29	6.4	0.0016	98	36	16
CuZn39Pb2	8.4	880-895	0.000021	0.09	0.28	6.4	0.0016	97	35	16
CuZn40Pb2	8.4	885-900	0.000021	0.09	0.29	6.4	0.0016	99	36	16
CuZn40Pb3	8.4	875-890	0.000021	0.09	0.29	6.2	0.0017	96	35	16
CuZn43Pb1	8.4	870-885	0.000021	0.09	0.29	5.5	0.0019	80	30	18

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad 1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ N/m}^2$$

يبين الشكلان (2-9) و(2-10) البنية الدقيقة لهذا النوع من البراص حيث تظهر كريات الرصاص وتوزيعها في البنية. لقد تم اخذ صورتين لكل حالة احدهما لسطح النموذج المصقول والثانية للسطح بعد اظهاره بالمحلول المظهر المناسب. والشكلان لسيكتي براص متقاربتين بمحتوى الرصاص. فتبلغ نسبة النحاس في النموذج الاول % 57.44

والرصاص 2.97 % والمتبقي هو الخارصين اما في النموذج الثاني فمقدار النحاس 58.7 % والرصاص 2.85% والمتبقي خارصين. وتمثل المناطق الداكنة الرصاص سواء قبل او بعد الاظهار.

## 2- 3- 3 سبائك البراص الالمنيومي (Aluminium Brasses)

يضاف الالمنيوم الى البراص لزيادة مقاومته للتاكل بماء البحر. واشهر سبائك هذا النوع هو البراص الحاوي على 76% نحاس و22% خارصين و2% المنيوم والتي تستخدم لتصنيع انابيب المبادلات الحرارية، وانواع اخرى تحتوي على نسبة تتراوح بين 55-65 % نحاس مع نسب متفاوتة من الالمنيوم والمنغنيز والحديد كعناصر مضافة والباقي في كل منها هو الخارصين الذي يمثل العنصر الثاني في محتوى السبيكة بعد النحاس. تضاف هذه العناصر او بعضها لتحسين مقاومة السبيكة. ومن الامثلة على ذلك السبائك التالية :



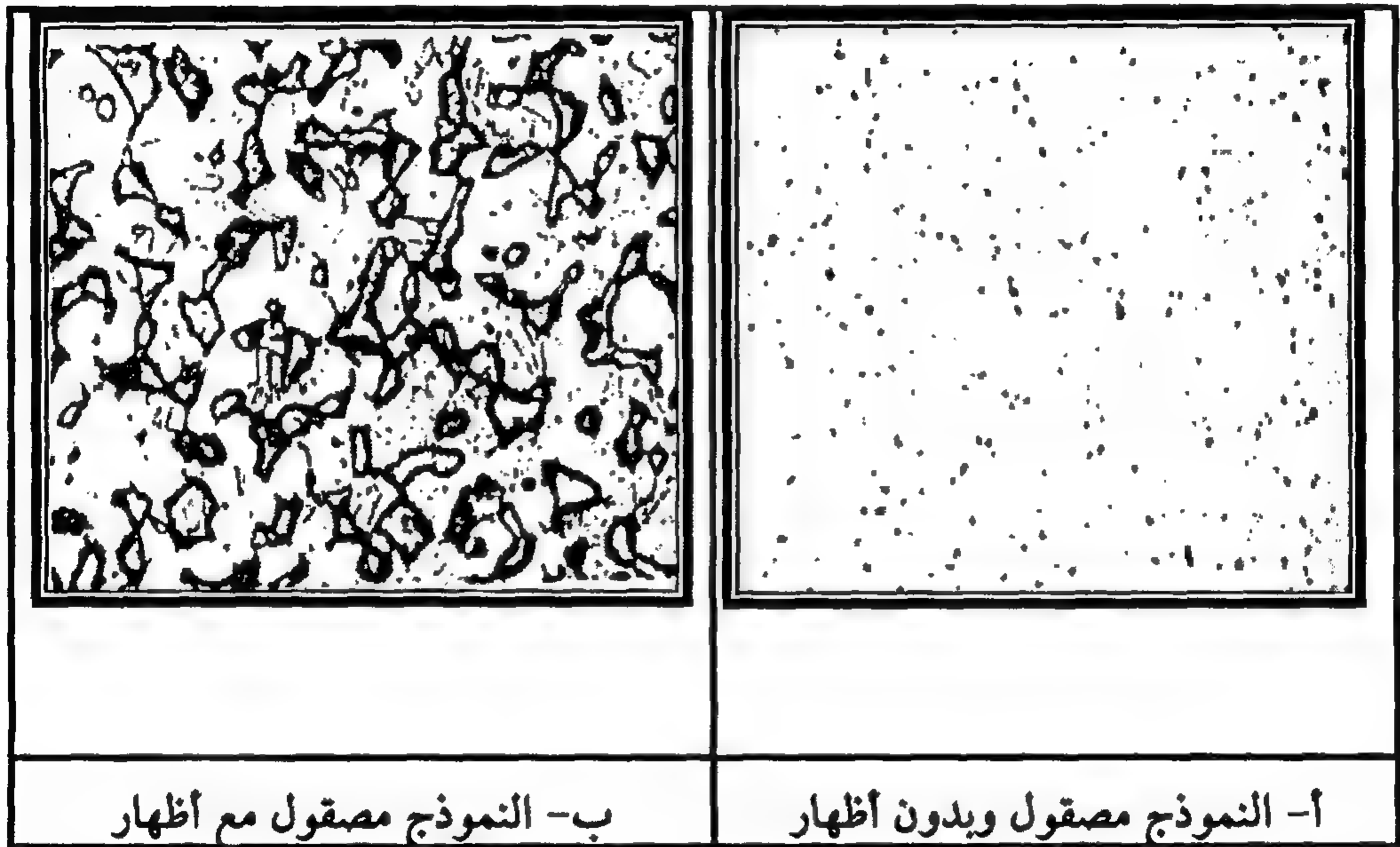
## 2- 3- 4 سبائك البراص القصديري

يتشابه القصدير والالمنيوم المضافين الى البراص في مفعولهما، حيث تؤدي اضافة القصدير الى السبيكة الى زيادة مقاومتها للتاكل (Corrosion resistance)، كما وجد ان مفعول الزرنيخ والكبريت على انفراد او كليهما معا يؤدي ايضا الى زيادة مقاومة التاكل للسبيكة كما في السبكتين  $\text{CuZn28Sn}$ ،  $\text{CuZn28SnAl}$  على سبيل المثال.

## 2- 3- 5 البرونزيات Bronzes

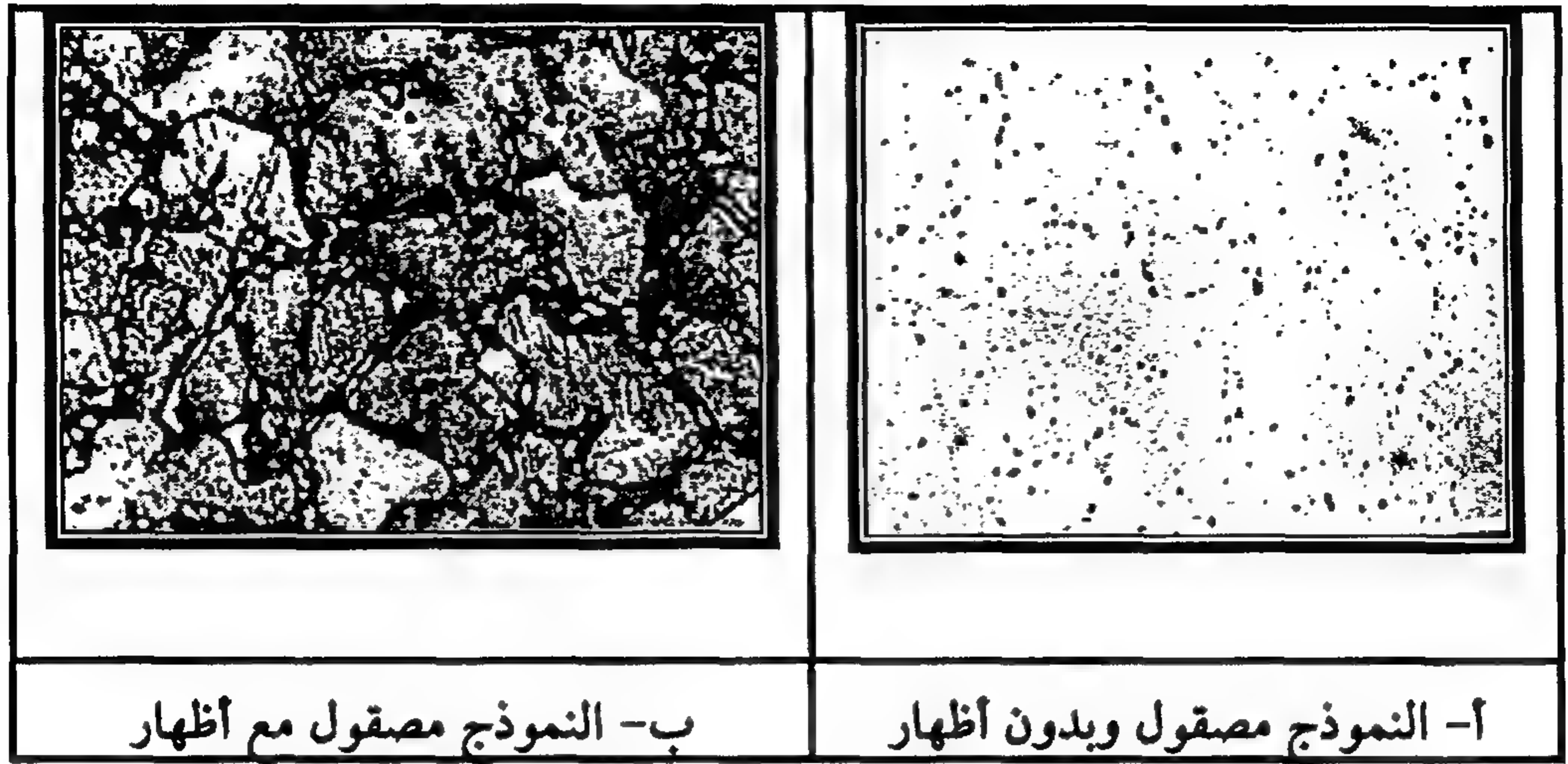
البرونزيات هي سبائك نحاسية تتكون من النحاس كعنصر اساس (لا يقل عن 60%) مع عنصر اخر او اكثر، وهي غير سبائك النحاس مع الخارصين او النيكل وعندما يوجد الخارصين في السبيكة وتكون نسبته اقل من العنصر السبيكي الاساس (القصدير والالمنيوم... الخ) تصنف السبيكة على انها برونز. وتصنف هذه السبائك كما في البراص الى احادية الطور (Single phase) او متعددة الأطوار (Multiphases) وتصنف ايضا على اساس العنصر الثاني بعد النحاس، على سبيل المثال، برونز القصدير و برونز

الالمنيوم، حيث يكون النحاس < القصدير او الالمنيوم > العناصر الاخرى، وغيرها من البرونزيات الاخرى. وعندما يكون هناك اكثر من عنصر في السبيكة فتسمى السبيكة على اساس العنصر الذي يشكل اكبر نسبة بعد النحاس. فعلى سبيل المثال عندما تكون سبيكة برونز الالمنيوم حاويه على عنصر اخر اقل من الالمنيوم فتسمى برونز الالمنيوم (Aluminium Bronze)، كما وتصنف سبائك البرونز على اساس الاستخدام ايضا، فيقال برونز الاقطاب (Electrodes Bronze) او برونز الموصلات وهكذا.



الشكل (2-9)

نموذجان من سبيكة البراص الرصاصي (Cu 57.44% + Pb 2.97% + المتبقي Zn)، اللون الغامق في النموذجين يتعلق بمناطق الرصاص في البنية الدقيقة للسبيكة.



### الشكل (2-10)

نموذجان من سبيكة البراص الرصاصي (Cu + 58.08% Pb + 2.85% المتبقي Zn)، اللون الغامق (الاسود) يبين مناطق تواجد الرصاص في البنية الدقيقة للسبيكة.

1- برونز القصدير (Tin Bronze)

تظهر في مخطط التوازن الطوري للنحاس - قصدير الشكل (2-11) الاطوار

التالية:

أ- طور ألفا ( $\alpha$ -phase)

وهو عبارة عن محلول جامد (Solid Solution) من القصدير في النحاس حيث ان اعظم قيمة لذويان القصدير في النحاس تبلغ 15.8% عند درجة حرارة  $520^{\circ}\text{C}$  لتتخفض الى حده 1.3% عند درجة  $200^{\circ}\text{C}$  والبنية البلورية لهذه السبائك هي (FCC).

ب- طور بيتا ( $\beta$ -phase)

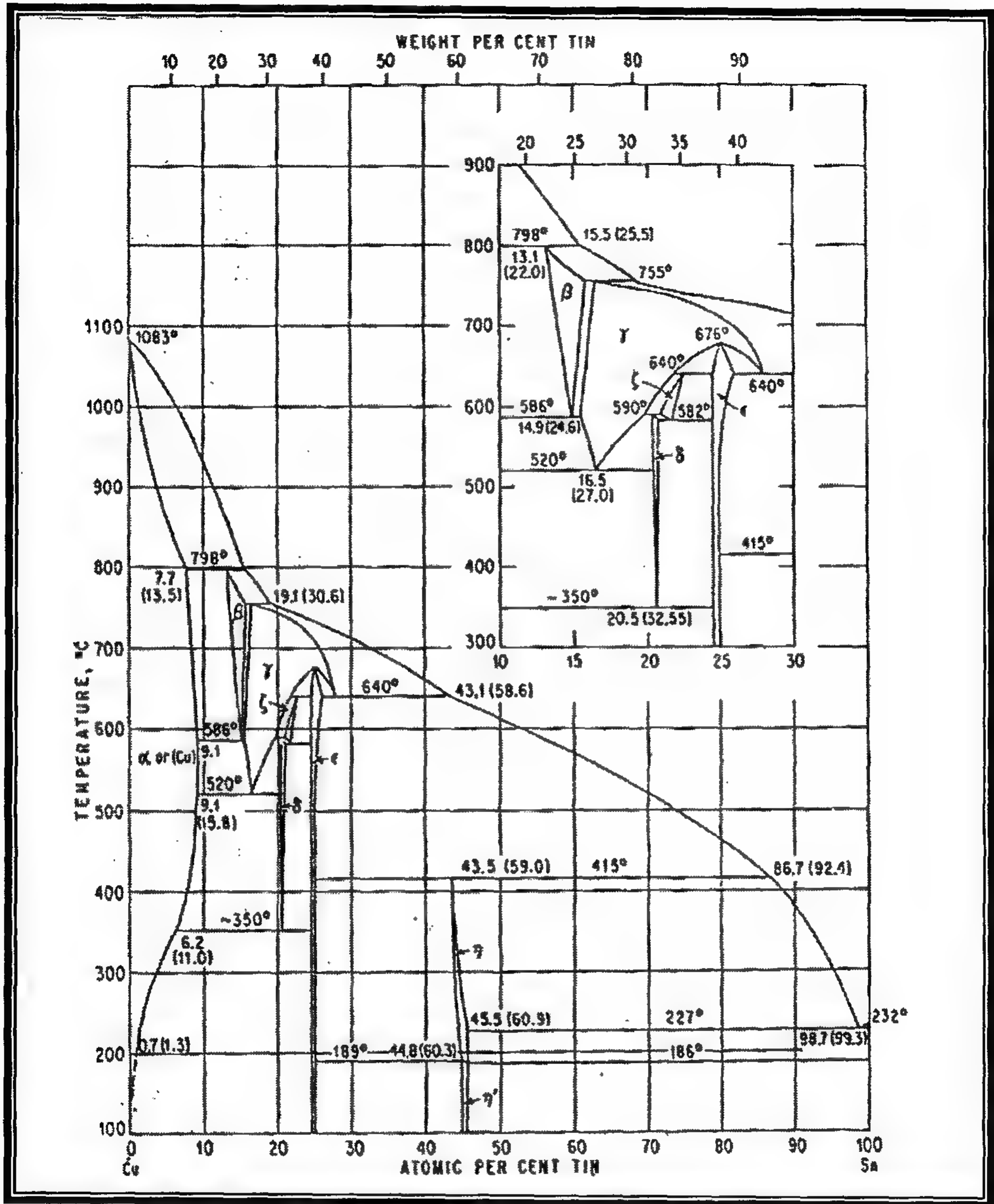
وهو عبارة عن محلول جامد ايضا. اما بنيته البلورية فهي (BCC) وهو مستقر عند درجات الحرارة العالية نسبيا حيث يتحلل الى الطورين ( $\alpha$  و  $\gamma$ ) بانخفاضها وهكذا فهناك اطوار اخرى كالطور  $\delta$  و  $\eta$  و  $\eta'$ ....و حسب التكوين الكيميائي ودرجة الحرارة.



ومن المألوف اضافة الفسفور بنسبة تتراوح بين 0.2-0.4 % الى برونزيات القصدير والتي تتراوح نسب القصدير فيها بين 2-20 %. ومن السبائك المشهورة سبيكتي CuSn10 ، CuSn6 حيث تكون الاولى بصورة سبائك مشكلة في حين تصنع الثانية كمسبوكات، كالجلب (Bushs) والتي تستخدم في صناعة مركبات التحميل (Bearings) واجزاء المضخات (Pumps) والصمامات (Valves)، والاستخدامات المماثلة التي يلزم فيها مقاومة بلي عالية (High wear resistance).

يمكن انتاج القضبان والاشرطة والشرائح والانابيب و الاسلاك من انواع البرونز الحاوي على نسب منخفضة من القصدير. ومن خلال المقارنة فقد وجد ان مقاومة الشد (Tensile Strength) والصلادة (Hardness) في حالة البرونز المسبوك والملدن ذات قيمة وسطية بين تلك التي للنحاس في حالتيه الملدنة (Annealed) والمصلدة (Hardened) حيث يتم تصليده بالتشكيل على البارد فقط. يتقبل البرونز التشكيل على البارد بنسب اقل مما في البراص. اذ يتطلب زيادة عدد المراحل (Passes) والتلدين الوسطي (Intermediate Annealing) والتي يمكن اجرائها بين 450 °C ولغاية 650 °C.





الشكل (11-2)

مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس - قصدير.

تقاوم هذه الانواع من السبائك (برونزيات القصدير) التاكل بنفس القدر الذي عليه النحاس تقريبا ولكن، الى حد ما، افضل مما هو عليه في سبائك البراص. يبين الجدول (8-2) التكوين الكيميائي لسبائك البرونز القياسية وحسب المواصفة الالمانية (DIN 17662).

### جدول (8-2)

بعض انواع سبائك برونز القصدير وتكوينها الكيميائي حسب المواصفة الالمانية (DIN 17662).

التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (%wt)							صنف سبيكة
Pb	Fe	Ni	Zn	P	Sn	Cu	البرونز
0.05	0.1	0.2	0.3	0.01-0.4	1-2.5	المتبقي	CuSn2
0.05	0.1	0.2	0.3	0.01-0.4	5.5-7.5	المتبقي	CuSn6
0.05	0.1	0.2	-----	0.01-0.4	7.5-9	المتبقي	CuSn8
0.05	0.1	0.2	5-7	0.01-0.4	5-7	المتبقي	CuSn6Zn

### 2- برونز الالمنيوم (Aluminium Bronze)

تظهر في مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس - المنيوم الشكل (2-12) الاطوار التالية:

#### أ- طور الفا (α-phase)

وهو محلول جامد للالمنيوم في النحاس، وتصل اعظم نسبة لذوبان الالمنيوم في النحاس الى 9.4% عند درجة حرارة الغرفة وحتى درجة الحرارة 565°C. اما عند الوصول الى اعلى من هذه الدرجة فتبدا قابلية الذوبان بالنقصان كلما ارتفعت درجة الحرارة وحتى بداية الذوبان عند 1037°C. اما البنية البلورية لهذا الطور فهي FCC..

### ب- الطور بيتا ( $\beta$ -phase)

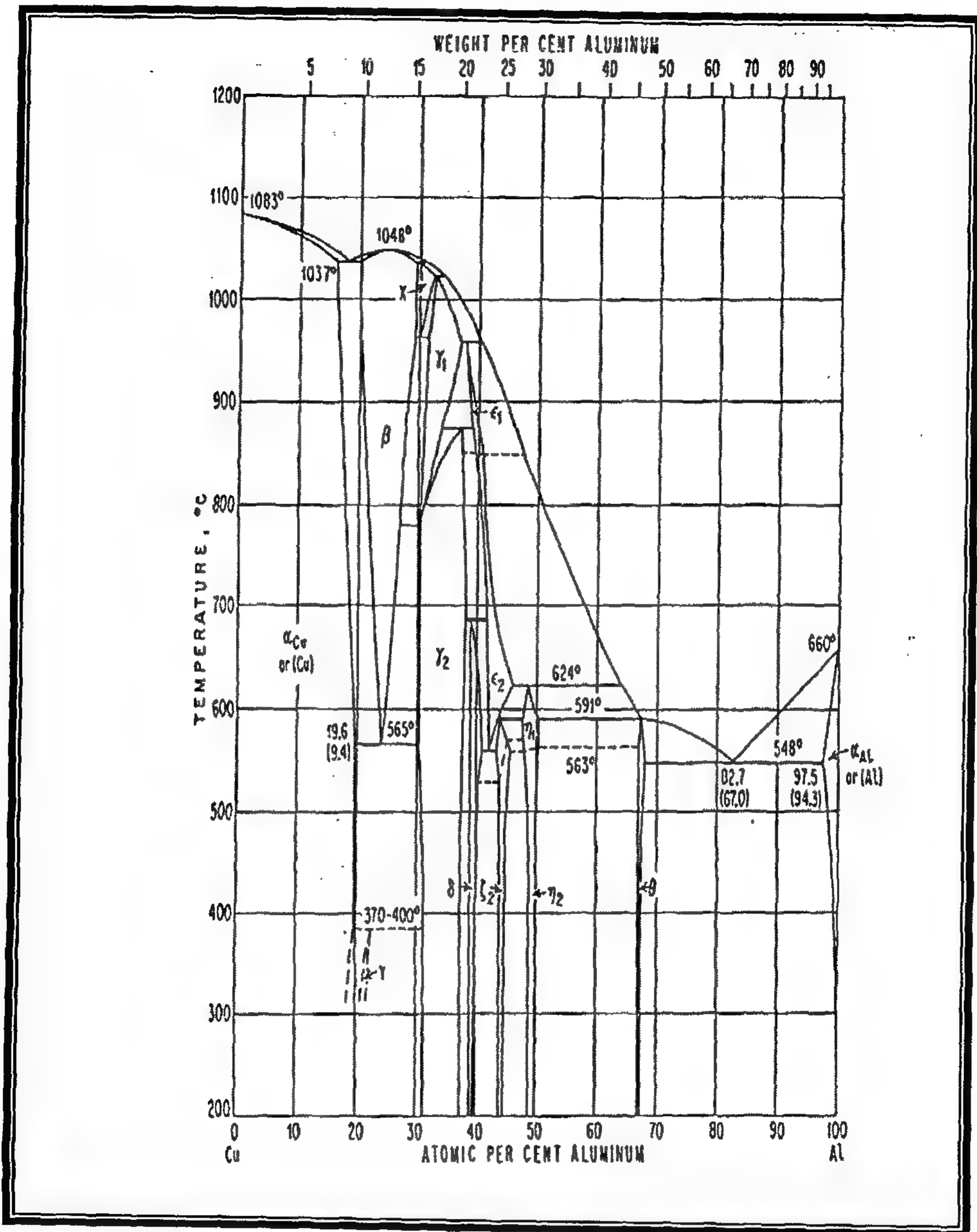
وهو محلول جامد ايضا للالمنيوم في النحاس لكن نسبة الالمنيوم فيه اعلى مما في الطور الفا. اما بنيته البلورية فهي BCC، وهذا الطور مستقر عند درجات الحرارة العالية اي اعلى من  $565^{\circ}\text{C}$  وعند انخفاض درجة الحرارة يتحول الى خليط من الطورين الفا وكاما  $2-(\alpha + \gamma_2)$ .

### ج- الطور كاما-2 ( $\gamma_2$ -phase)

وهو ايضا محلول جامد من الالمنيوم في النحاس وتركيز الالمنيوم فيه اعلى من الطور ( $\beta$ ) وله بنية بلورية معقدة نسبيا.

تشتهر في الصناعة مجموعتان من سبائك برونزيات الالمنيوم هما:

- اولا: السبائك التي تتراوح فيها نسبة الالمنيوم بين % 5-8 والباقي نحاس وبدون عناصر اخرى. وهذه السبيكة احادية الطور ويحتوي تركيبها على محلول جامد هو الطور الفا فقط، كما مر ذكره.
- ثانيا: السبائك التي تحتوي على % 10 المنيوم مع عناصر اخرى كالحديد والنيكل والمنغنيز و احيانا السليكون. وهذه المجموعة يمكن ان تصلد بعمليات المعالجة الحرارية كالاخماد (Quenching) والمراجعة (Tempering).



الشكل (2-12)

مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس - المنيوم.

ويبين الجدول (9-2) بعض من هذه السبائك المعروفة في الصناعة.

### جدول (9-2)

التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (wt%) لبعض برونزيات الألمنيوم حسب المواصفة الألمانية (DIN 17665).

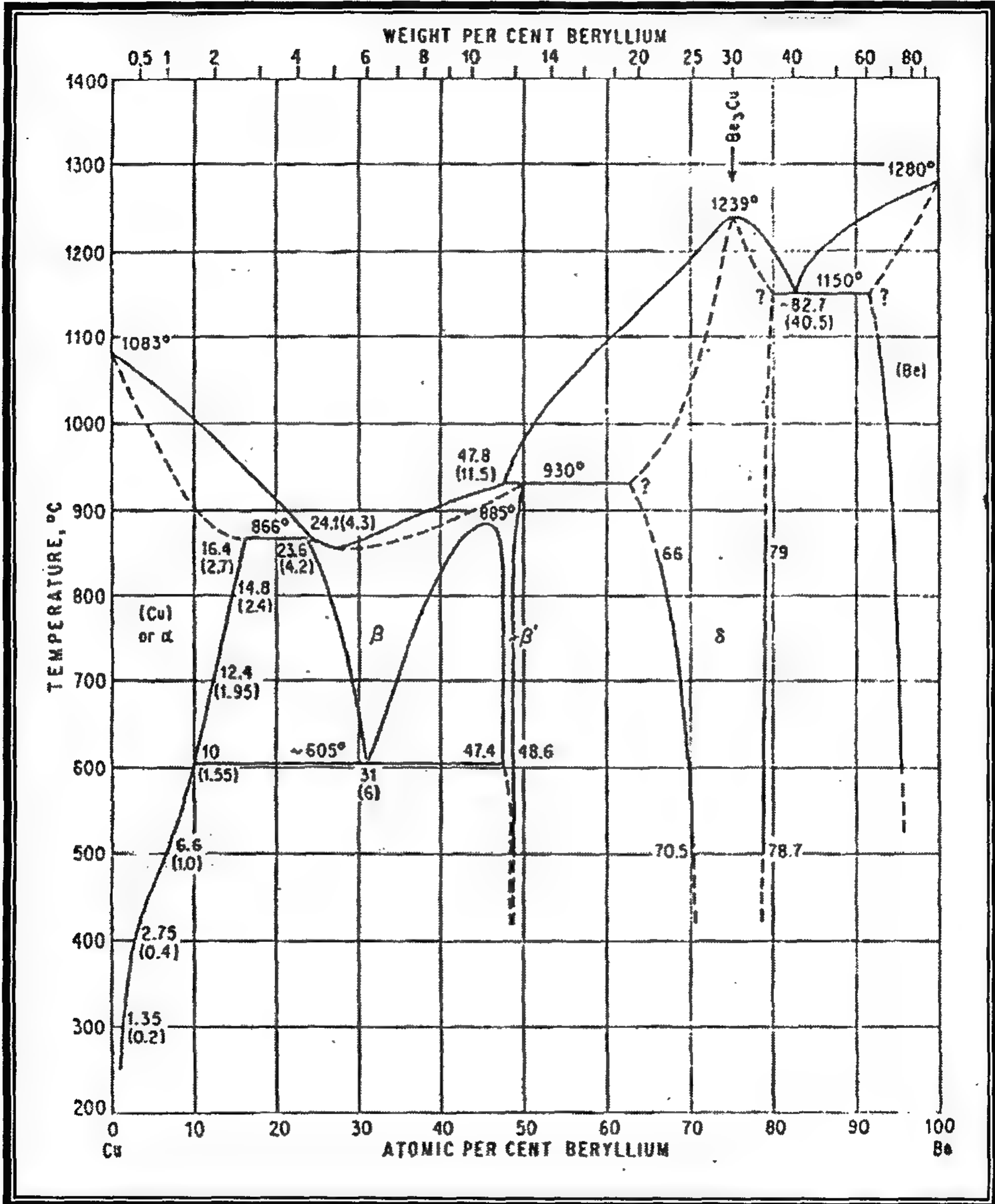
التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (wt%)								سبيكة برونز الألمنيوم
Si	Zn	Pb	Ni	Mn	Al	Fe	Cu	
0.2	0.5	0.02	≤0.8	≤0.3	4-6	≤0.4	المتبقي	CuAl5
0.2	0.5	0.02	≤0.8	≤0.8	7-9	≤0.5	المتبقي	CuAl8
0.2	0.5	0.02	≤0.8	≤0.8	6.5-9	1.5-3.5	المتبقي	CuAl8Fe
0.2	0.5	0.02	≤0.8	1.5-3	7.9-9.9	≤1	المتبقي	CuAl9Mn
0.2	0.5	0.05	5-7	≤1.5	10.5-12.5	4.8-7.3	المتبقي	CuAl11Ni

### 3. برونزيات البيريليوم (Copper Beryllium Alloys)

يبين مخطط التوازن الطوري (الشكل 2-13) ان النحاس يذوب 2.7 % من عنصر البيريليوم في المحلول الجامد عند درجة 865°C وان هذه الذوبانية تنخفض الى قيمة واطئة عند درجة حرارة الغرفة. فاذا اخذت السبيكة المحتوية على 2 % بيريليوم، على سبيل المثال، من درجة 800°C، فالمحلول الجامد - الفا سوف يستمر متواجدا عند درجة حرارة الغرفة. ان هذا المنتج المخمد، الذي يمكن ان يوصف بأنه محلول فوق الاشباع لعنصر البيريليوم في النحاس، يكون شبه مستقر (meta-stable) عند درجة حرارة الغرفة وسوف



ومطيلية ويمكن ان تصلد بالتشكيل البارد.



### الشكل (2-13)

مخطط التوازن الحراري الطوري لنظام النحاس بريليوم (Cu-Be).

واذا سخنت السبيكة المخمدة واللينة (او المصلدة انفعاليا) (Strain hardened) الى حوالي  $300^{\circ}\text{C}$ ، فان زيادة كبيرة تحدث في الصلادة والمقاومة ويمكن الحصول على مقاومة شد تصل الى  $1400\text{ MPa}$ . وهذا التحسن في الخواص الميكانيكية ناتج من تكون دقائق لا يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي (Sub-microscopic particles) اثناء عملية المعالجة الحرارية عند  $300^{\circ}\text{C}$  وهذه العملية تدعى التصليد بالترسيب (Precipitation hardening) مع انه لم يحصل ترسيب حقيقي بعد.

تحتوي السبائك التجارية على حوالي  $1.8\%$  من البريليوم وحوالي  $0.5\%$  من الكوبلت لتحسين الاستجابة للمعالجة الحرارية. والسبائك المصلدة بالترسيب لها مقاومة عالية للبللي والتاكل واجهاد حد الكلال، وخواص مرونة جيدة وهي تقاوم التلين حتى حوالي  $250^{\circ}\text{C}$ . وتستخدم هذه السبائك للنوابض والمنافخ، والحواجز اضافة الى العدد غير القذحية (Non-sparking tools) واقطاب لحام المقاومة.

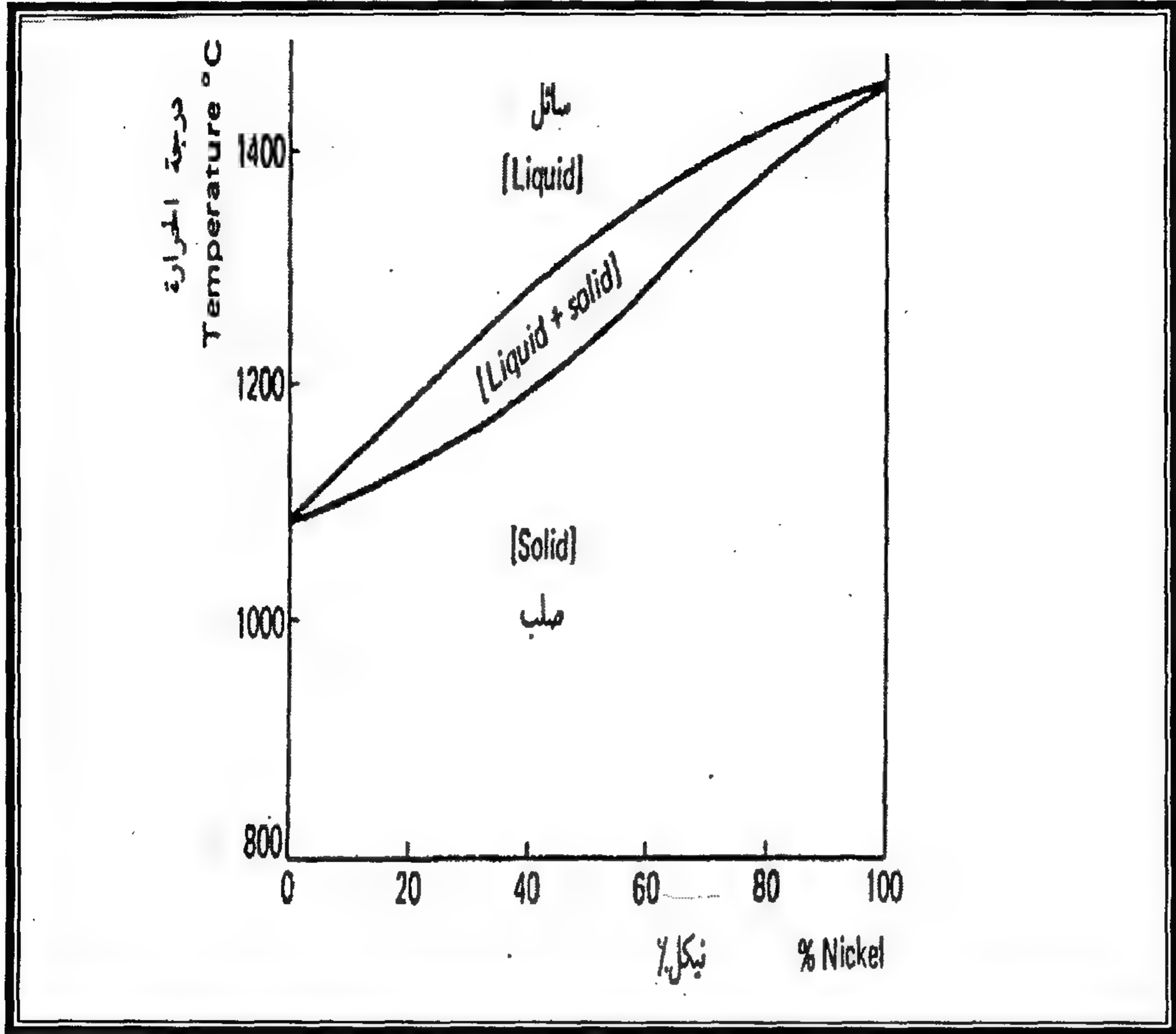
## 2- 3- 6 سبائك النحاس - نيكل (Copper-Nickel Alloys)

وتسمى هذه السبائك (كبرونيكال) وتمثل نوع اخر من السبائك النحاسية حيث يتداوب النحاس والنيكل في بعضهما وبجميع النسب وبدون تكوين مركبات معدنية (Intermetallic Compounds). يمثل الشكل (2-14) مخطط التوازن الحراري (الطوري) لنظام النحاس - نيكل ومنه يظهر ان جميع سبائك النحاس - نيكل احادية الطور (Single phase) ولا تقبل اي نوع من انواع المعاملات الحرارية عدا التلدين الذي يُجرى من اجل ازالة الاجهادات التي تحصل اثناء عمليات التشكيل البارد.

تصل درجة الحرارة اللازمة للتلدين الى  $700^{\circ}\text{C}$  وبزمن قصير من اجل منع ظاهرة النمو البلوري (Grain growth). لا يمكن تصليد السبيكة بعد التلدين الا بالتشكيل البارد (Cold deformation) مع الاخذ بنظر الاعتبار ان قابلية التشكيل تقل كلما زادت نسبة النيكل في السبيكة.

تضاف عناصر اخرى لبعض انواع سبائك النحاس - نيكل كالحديد والكروم والمنغنيز والسليكون والالمنيوم وبعض هذه السبائك قابلة للتصليد

بالتعتيق (Agehardening) وبدون عمليات تشكيل على البارد. ويبين الجدول (10-2) امثلة من هذه السبائك وتكوينها الكيميائي حسب المواصفة الالمانية (DIN 17664).



الشكل (14-2)  
مخطط التوازن الحراري للنحاس - النيكل.

## الجدول (2-10)

التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس - نيكل بموجب المواصفة الالمانية (DIN 17664) وزنا بالمئة.

Mn %	Fe %	Ni %	Cu %	سبيكة النحاس - نيكل
0.3-0.8	1-1.5	4.8-6	المتبقي	CuNi5Fe
0.5-1.0	1-1.8	9-11	المتبقي	CuNi10Fe
0.5-1.5	0.5-1	20-22	المتبقي	CuNi20Fe
-----	-----	24-26	المتبقي	CuNi25
0.5-1.5	0.4-1	32-30	المتبقي	CuNi30Fe
-----	-----	43-45	المتبقي	CuNi44

## 4-2 تأثير العناصر المضافة على خواص سبائك النحاس:

### أ- النيكل Ni

يرفع النيكل متانة (Toughness) النحاس ويزيد من مقاومته للتآكل وخصوصا بماء البحر ويزيد المقاومة الكهربائية للمعدن (Electric resistance).

### ب- الحديد Fe

يضاف الى السبائك النحاسية من اجل زيادة مقاومتها للشد (Tensile strength) ولزيادة مقاومة المعدن للتآكل الصدمي (Impingement corrosion).

### ج- المنغنيز Mn

يضاف من اجل ازالة تأثير الكبريت (De-sulphurizing) ويزيل انخفاض مقاومة التآكل التي يسببها وجود الكبريت كما يمنع هشاشة (Brittleness) المعدن.

#### د- الكروم Cr

يضاف لرفع صلادة المعدن ومقاومته وتحسين مقاومته للتآكل بماء البحر وذلك بتكوين طبقة واقية من اوكسيده.

#### هـ- التيتانيوم Ti

يضاف هذا المعدن الى قضبان اللحام والاجزاء التي غالبا ما يتم لحامها وذلك لتقليل مسامية منطقة اللحام.

#### و- السليكون Si

يضاف الى السبائك الحاوية على 2.5 % نيكل ليجعلها ممكنة التصليد بالتعتيق نتيجة ترسب مركبات معدنية في المحلول الجامد الاساس.

يبين الجدول (2-11) التكوين الكيميائي لسبائك البرونز وتطبيقاتها. كما يبين الجدول (2-12) الخواص الفيزيائية لبعض سبائك البرونز. كما يبين الجدول (2-13) التكوين الكيميائي لسبائك نحاس أخرى و يتطرق الى تطبيقاتها. اما الجدول (2-14) فيبين الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس. في حين يبين الجدول (2-15) التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس اضافة الى تطبيقاتها. كذلك يبين الجدول (2-16) الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس أنفة الذكر. اما الجدول (2-17) فيعرض التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس نيكل ويتطرق الى تطبيقاتها. واخيرا فالجدول (2-18) يتضمن الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس نيكل انفة الذكر.



جدول (2-11): التكوين الكيميائي لسبائك البرونز وتطبيقاتها. \* (Ni+Co)

التطبيقات	التكوين الكيميائي وزنا بالئة، %wt												صنف السبيكة
	معدن اخرى	Mn	Zn	P	Co	Si	Ni	Fe	Al	Pb	Sn	Cu	
مساند الجسور، مشابك القواصل، بطاكن معدنية، اجزاء المقاطيع الكهربائية، اسلاك، اسلاك حام، مشبكات الكافن، فلكات (washers)، مشبكات.	----	----	0.3	0.035 - .003	----	----	----	0.1	----	0.05	4.2-5.8	93.6-95.6	Cu95Sn5
قسطبان وصفايح لتعمل ضمنوط عالية مقاومة للتاكل وذات خواص ناهضية.	----	----	0.2	0.035- 0.03	----	----	----	0.1	----	0.05	7-9	90-92.8	Cu92Sn8
قسطبان لتصنيع اللوالب، واجزاء الكافن والصفحات وفي القواصل والسن.	----	----	1.5-4.5	0.5	----	----	----	0.1	----	3.5-4.5	3.5-4.5	المتقي	Cu 88 pb 4 Sn4 Zn4
مهدريك القاطرات، اللوالب، انابيب المبادلات الحرارية، وماسكات القابلات.	----	0.7	1.5	0.05	----	0.8-2	----	0.8	----	0.05	----	المتقي	Cu 98.5 Si 1.5
اجزاء مهدريك القاطرات، الاجهزة الكيميائية، انابيب المبادلات، حلفات الكابس.	---	1.5	1.5	---	---	2.8-3.8	0.6	0.8	---	0.5	---	المتقي	Cu 97 Si 3
0.5	---	---	---	---	---	---	---	0.5	4-7	---	---	92-96	Cu 95Al 5

في صناعة قوالب ومرايل (السطرات) التكميل، الكامات، صفائح مقاومة للبي، بطانات معدنية	لواكب، صامولات، اجزاء الماكين، قضبان واسلاك لافراس الصيانة الترابض واجزاء المقتبض الكهرباية.	بستخدام في اجزاء التراسبات لقاروصها للفاكل.	اجزاء المشغلات، صمامات، تروس، قاطبب ومشتاح في للكشاش ولاستخدام في الاوساط المؤكسد.	مركبات الصمبل، بطائن معدنية، تروس، امعددة المشغلات، كامسات (cams)، الاجزاء القاروة للفاكل.	قالبب وقضبان ومشتاح لتستخدم في اجزاء المادلات الحرارية.	قضبان واسلاك تستخدم في صناعة الامعدة واللواكب، بطانة للصلب.
0.5	---	---	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.1	3.5	1.5	0.5	1	---
---	0.5	---	0.3	---	0.2	0.2
---	---	---	---	---	0.015	---
---	0.25	---	---	---	---	---
---	1.5-2.1	0.1	0.25	0.25	---	0.1
---	0.1	4-5.5	4-5.5*	*	---	---
3.5-5.0	0.1	3-5	2-4	2-4	1.5-3.5	0.5
12.5-13.5	2.5-3.1	8.5-9.5	9-11	8.5-11	6-8	6-8.5
---	0.05	0.02	---	---	0.01	0.02
---	0.2	---	---	0.6	---	---
النجفي	93.5-96.3	75.9-84.5	82-87	82.2-89.2	88-92.5	النجفي
Cu82.7Al13 Fe4.2	Cu95.5 Al2.8 Si18Co0.4	Cu82Al9Ni5 Fe4	Cu82Al10Ni5Fe3	Cu87Al10Fe3	Cu91Al7Fe2	Cu 92 AL 8

## جدول (2-12)

### الخواص الفيزيائية لبعض سبائك البرونز.

مصف السبيكة	الكثافة g/cm <sup>3</sup>	مدى درجات حرارة الانصهار °C	معامل التمدد الحراري °C <sup>-1</sup>	معيار الرونة GPa	التوصيلية الحرارية Cal/cm.S. °C	التوصيلية الكهربائية m/ Ω.mm <sup>2</sup>	المقاومة الكهربائية μ Ω.cm
Cu95Sn5	8.86	975-1060	0.000017	111	0.200	11.6	8.7
Cu92Sn8	8.8	880-1020	0.000018	111	0.148	7.5	13.3
Cu88Pb4Sn4Zn4	8.89	930-1000	0.000017	104	0.206	11.0	9.0
Cu90Sn10	8.78	845-1000	0.000018	111	0.119	6.38	15.7
Cu98.5Si1.5	8.75	1030-1060	0.000018	118	0.136	6.96	14.4
Cu95Al5	8.17	1050-1065	0.000018	122	0.189	9.84	10.0
Cu92Al8	7.78	1040-1045	0.000017	118	0.165	8.7	11.5
Cu91Al7Fe2	7.89	1040-1045	0.000016	118	0.134	8.12	12.3
Cu87Al10Fe3	7.65	1040-1045	0.000016	118	0.129	6.69	14.4
Cu82Al10Ni5Fe3	7.58	1035-1055	0.000016	118	0.090	5.2	19.2
Cu82Al9Ni5Fe4	7.64	1040-160	0.000016	118	0.086	4.0	24.6
Cu95.5Al3.5Si1	8.33	1035	0.000017	111	0.136	6.96	14.3
Cu97 Si3	8.35	970-1025	0.000018	104	0.086	4.0	24.6
Cu95Al2.8Si1.8Co0.4	8.28	1000-1030	0.000017	117	0.099	5.8	17.4
Cu82.7Al 15Fe4.3	7.21	1047-1052	0.000016	111	0.093	4.64	17.2

## جدول (2-13)

التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس وتطبيقاتها.

التطبيقات	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة %wt									صنف السبيكة
	As	Mn	Si	Fe	Pb	Ni	Sn	Zn	Cu	
صفائح مدرفلة لنوابض المفاتيح الكهربائية	---	---	---	0.05	0.1	---	1.5-2.2	المتبقي	89-93	Cu91Zn7.2Sn1.8
للتوصيلات الكهربائية	---	---	---	0.05	0.1	---	4.8-5.5	المتبقي	89-92	Cu 90.5 Zn 4.35 Sn 5.15
أنابيب المكثفات والمبادلات الحرارية المقاومة للتآكل	0.1-0.2	---	---	0.9-1.2	0.07	---	0.8-1.2	المتبقي	70-73	Cu71Zn28Sn1
الواح المكثفات، أسلاك اللحام، أعمدة المراوح، خزانات خاصة بالطائرات	0.1-0.2	---	---	0.1	0.2	---	0.5-1.0	المتبقي	59-62	Cu60Zn39.2Sn0.8
لصيانة الفواصلات، أجزاء صمامات البخار، اللوالب المشغلة بالخراطة	---	---	---	0.1	0.4-1	---	0.5-1.0	المتبقي	59-62	Cu60.5Zn38Sn0.8
أجزاء صمامات البخار لقامة التآكل وذات مقاومة عالية، الأجزاء المصنعة بالخراطة أو العدادة	---	---	0.5-4.5	0.2	0.1	---	---	المتبقي	80-83	Cu81.5Zn14.5Si4
اللوالب، البراشيم، السطوح المنزقة ولوحات الاسماء وأعمال الصيانة العامة	---	0.5	---	0.25	0.1	9-11	---	المتبقي	63.5-68.5	Cu65Zn25Ni10
أسلاك بعض المقاومات الكهربائية والنوابض	---	0.5	---	0.25	0.1	16.5-19.5	---	المتبقي	53.5-56.5	Cu55Zn20Ni18
أجزاء الساعات والاقفال وصفائح الساعات	---	0.5	---	0.35	1.5-2.5	7-9	---	المتبقي	63-67	Cu65Zn25Ni8pb2
نوابض المفاتيح الكهربائية، أسلاك خاصة بلحام المونيه (brazing)، أجهزة السيطرة	---	0.2	---	0.6	0.05	8.5-10.5	1.8-2.8	المتبقي	63-67	Cu88.2Ni9.5Sn2.3



## جدول (2-14)

الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس.

مصفى المبيكة	الكثافة g/cm <sup>3</sup>	مدى درجات حرارة الانصهار °C	معامل التمدد الحراري °C <sup>-1</sup>	معيار البرونة GPa	التوصيلية الحرارية Cal/cm.S. °C	التوصيلية الكهربائية m/Ω.mm <sup>2</sup>	المقاومة الكهربائية μΩ.cm
Cu <sub>91</sub> Zn <sub>7.2</sub> Sn <sub>1.8</sub>	8.8	1010-1032	0.000018	110	0.293	16.24	6.2
Cu <sub>90.5</sub> Zn <sub>4.35</sub> Sn <sub>5.15</sub>	8.8	1000-1025	0.000018	124	0.239	12.76	7.6
Cu <sub>71</sub> Zn <sub>28</sub> Sn <sub>1</sub>	8.53	900-935	0.000020	110	0.260	14.00	6.9
Cu <sub>60</sub> Zn <sub>39.2</sub> Sn <sub>0.8</sub>	8.41	885-900	0.000021	103	0.277	15.00	6.63
Cu <sub>81.5</sub> Zn <sub>14.5</sub> Si <sub>4</sub>	8.19	820-920	0.000020	110	0.062	3.60	28
Cu <sub>60.5</sub> Zn <sub>38</sub> Sn <sub>0.8</sub>	8.44	885-900	0.000020	104	0.277	15.00	6.63



19.2	5.22	0.107	120	0.000016	1020	8.69	Cu65Zn25Ni10
31.4	3.20	0.070	124	0.000016	1055	8.70	Cu55Zn27Ni18
24.6	4.00	0.086	124	0.000016	1040-1075	8.70	Cu65Zn20Ni15
17.2	6.3	0.115	117	0.000018	970-1000	8.69	Cu65Zn25Ni8Pb2
15.7	6.38	0.128	138	0.000016	1060-1130	8.19	Cu88.2Ni9.5Sn2.3

## جدول (2-15)

### التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس وتطبيقاتها.

التطبيقات	التكوين الكيميائي وزناً بالـ %wt													صنف السبيكة
	Cr	Al	Fe	Ag	P	Zn	Pb	Sn	Si	Ni	Co	Be	Cu	
الاجزاء الكهربائية	6.0-1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1'0-20'0	>98.5	Cu99Cr0.8 Be0.06
الموصلات الكهربائية والحرارية ذات المقاومة العالية.	0.4-1.6	---	---	---	0.04	---	0.015	---	---	---	---	---	98-99.6	Cu99Cr1
اسلاك القطع، اسلاك اللحام، (تحسين الخفة توصيلية السبيكة)	0.1	0.1	0.1	0.8-1.2	---	0.1	0.002	0.1	0.15	0.2	14-1.7	0.55-0.3	القي	Cu96Co1.5 Ag1Be0.4
القطاب لحام النقط، اجزاء الغرامل والفاصل	0.1	0.1	0.1	---	---	0.1	0.02	0.1	0.15	1-2	0.2	0.80-3.50	القي	Cu98Ni15Be0.5
كامرات، بطانات، تروس، نماذج تشكيل، نماذج قوالب البلاستيك.	0.1	0.15	0.2	---	---	0.1	0.02	0.1	---	0.1	0.4-0.2	1.75-1.65	القي	Cu98Be1.7 Co0.3
الصمامات، الاجزاء المعرضة للبي، لصناعة نماذج قوالب البلاستيك.	0.1	0.15	0.25	---	---	0.1	0.02	0.1	0.2-0.35	0.2	0.35-0.70	2.15-1.9	>95.5	Cu97.2Be2 Co0.5Si0.25
لصناعة نماذج قوالب البلاستيك.	0.1	0.15	0.2	---	---	0.1	0.02	0.1	0.2-0.35	0.2	0.35-0.70	2.25-2.45	القي	Cu97Be2.4 Co0.5

مسالك وتركيزات التجهيل التي تعمل تحت حمل كبير وعند سرع عالية	التروس والمضخات المقاومة للبيبي والكمامات	التروس والمضخات والمساند، وتركيزات التجهيل التي تعمل تحت حمل عال وسرع وطنية	تركيزات التجهيل، مضخات، مسرّاح المضخات وهيكلها، أجزاء الصمامات	أجزاء المشعات Radiators مضخات الغاز، مثبتات خفيفة، أجزاء الأثاث	مسامات الضغط المسنن، تراكيب الألياف، الألياف الكاوتش	كمامات، تركيزات التجهيل، مضخات، مسامات، أجزاء أجهزة الاتصالات
---	---	---	---	---	---	0.1
---	---	0.005	0.005	0.35	0.005	0.15
0.15	0.2	0.15	0.15	0.7	0.3	0.25
---	---	---	---	---	---	---
0.05	0.5	0.1-0.3	0.05	---	0.05	---
0.7	0.25	0.5	1-3	24-32	4-6	0.1
8-11	2-3.2	0.5	0.3	1.5-3.5	4-6	0.02
9-11	9-11	10-12	9-11	5-0.5	4-6	0.1
0.003	0.005	---	---	0.05	0.05	0.35-0.2
0.7	4-8.2	1	1	1	---	0.2
---	---	---	---	---	1.0	0.35-0.7
---	---	---	---	---	---	2.5-2.75
78-82	81.5-85	النبي	86-89	65-70	84-86	>94.8
Cu80Sn10 Pb10	Cu84Sn10 Ni3.5Pb2.5	Cu87Sn8Pb1Zn4	Cu88Sn10 Zn2	Cu67Zn29Pb3Sn1	Cu85Sn5Pb5 Zn5	Cu96.6Be2.6 Co 0.5Si 0.3

## جدول (2-16)

الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس.

المقاومية الكهربائية $\mu\Omega.cm$	التوصيلية الكهربائية $m/\Omega.mm^2$	التوصيلية الحرارية $Cal/cm.S.^{\circ}C$	مقياس المرونة GPa	معامل التمدد الحراري $^{\circ}C^{-1}$	مدى درجات حرارة الانصهار $^{\circ}C$	الكثافة $g/cm^3$	صنف السبيكة
2.46	40.6	0.620	111	0.000018	1075-1100	8.81	Cu99Cr0.8Be0.06
3.83	52.2	0.752	119	0.0000171	1075-1085	8.82	Cu99Cr1
3.59	27.84	0.520	111	0.000018	1010-1070	8.62	Cu97Co1.5Ag1Be0.4
3.59	27.84	0.438	115	0.0000162	1040-1115	8.75	Cu98Ni1.5Be0.5
6.9	14.5	0.252	129	0.000017	900-1000	8.31	Cu98Be1.7Co0.3
8.62	11.6	0.252	129	0.000017	850-975	8.26	Cu97.2Be2Co0.5Si0.25

---	---	---	---	---	---	---	---	9.07
5.80	5.33	6.96	5.57	6.38	11.36	8.7	10.44	11.02
0.112	0.139	0.177	0.169	0.177	0.260	0.173	0.227	0.239
84	97	97	104	104	90	84	134	132
0.0000185	0.000017	0.000018	0.000018	0.000020	0.0000202	0.000018	0.000017	0.000017
762-928	860-1030	855-1000	832-1000	854-999	925-940	852-1010	835-930	850-950
8.95	8.79	8.80	8.77	8.72	8.45	8.83	8.09	8.16
Cu80Sn10Pb10	Cu84Sn10Ni3.5Pb2.5	Cu87Sn8Pb1Zn4	Cu89Sn11	Cu88Sn10Zn2	Cu67Zn29Pb3Sn1	Cu85Sn5Pb5Zn5	Cu96Be2.6Co0.5Si0.3	Cu97Be2.4Co0.5



جدول (2-17)

التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس - نيكل وتطبيقاتها.

التطبيقات	التكوين الكيميائي وزناً بالمئة (%wt)											منصف السبيكة
	اخرى	C	Ti	Cr	Zr	Mn	Zn	Fe	pb	Ni	Cu	
المكثفات والتأثيرات الهوائية الحرارية والبرق والتأثيرات التياء المائعة، لها قابلية جيدة للحام	0.5	---	---	---	---	1	1	1-1.8	0.05	9-11	النقي	Cu90Ni10
مراحل الاتصال، الدواج المكثفات الفولاذية الكهربائية التأثيرات والتيارات الحرارية	0.5	---	---	---	---	1	1	1	0.05	19-23	النقي	Cu80Ni20
تأثيرات أجهزة التتبع، التأثيرات الحرارية و المكثفات	0.5	---	---	---	---	1	1	0.4-0.7	0.05	29-33	النقي	Cu70Ni30
تأثيرات الدواج المكثفات التياء المائعة، التأثيرات الحرارية	0.5	0.04	0.01-0.02	2.4-3.2	0.02-0.25	---	---	---	---	28-32	النقي	Cu67.2Ni30Cr2.8
تأثيرات التأثيرات الحرارية و المكثفات والتأثيرات المائعة	0.5	0.03	0.03	0.3-0.7	---	0.4-0.9	---	0.5-1	---	15-18	النقي	Cu83Ni16.5Cr0.5
اصال الصيانة (لواصق - برشيم) ... الاجهزة المسيرة كاجزاء آلات التصوير، الجوهرات الكافية، هوائي الراديو...	0.5	---	---	---	---	0.5	النقي	0.25	0.1	19.5-16.5	66.5-63	Cu65Ni18Zn17

## جدول (2-18)

الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس - نيكل.

النقاوة الكهربائية $\mu \Omega \cdot \text{cm}$	19.1	26.6	37.5	39.5	26.4	28.7
التوصيلية الكهربائية $\text{m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$	5.27	3.7	2.66	2.55	3.78	3.78
التوصيلية الحرارية $\text{cal/cm} \cdot \text{S} \cdot ^\circ \text{C}$	0.094	0.086	0.070	0.068	0.082	0.086
معيار الوزن $\text{GPa}$	140	140	153	153	140	125
معامل التمدد الحراري $^{\circ} \text{C}^{-1}$	0.000017	0.000016	0.000016	0.0000168	0.0000158	0.000016
مدى درجات حرارة الانصهار $^{\circ} \text{C}$	1100-1150	1150-1200	1170-1240	1170-1220	1122-1176	1070-1110
الكثافة $\text{g/cm}^3$	8.94	8.94	8.94	8.85	8.94	8.73
صنف السبيكة	Cu90Ni10	Cu80Ni20	Cu70Ni30	Cu67.2Ni30Cr2.8	Cu83Ni16.5Cr0.5	Cu65Ni18Zn17



## الفصل الثالث

### الصهر والسباكة

Melting and Casting





## الفصل الثالث

### الصهر والسباكة

#### Melting and Casting

#### 3- 1 المقدمة:

تؤخذ في الاعتبار نسب الشوائب في المعادن المسبوكة على اساس الغرض من استخدامها اي مدى تاثير هذه الشوائب على الخواص المطلوبة، اضافة الى طريقة الاستخلاص والتنقية. وبصورة عامة، فان النقاوة العالية ليست مطلبا رئيسا دائما ولذلك يستخدم النحاس المنقط (Blister copper) والنحاس المنقى بالنار (Fire Refined copper) في معظم التطبيقات الصناعية. وعندما يكون المطلوب هو نحاس ذا نقاوة عالية للاستخدام في التطبيقات الكهربائية والالكترونية فان الخام الملائم عندئذ هي الصفائح الكاثودية (المهبطية) والتي يمكن ان تفي بالغرض اذا ما تمت عمليات الصهر والسباكة تحت ظروف خاصة تحدد من خلالها نسب الاوكسجين والشوائب في المنتج النهائي. كما يستخدم النحاس المنقط كقاعدة للسبائك النحاسية باضافة معادن اخرى كعناصر سبك (Alloying elements) كالخارصين والنيكل والالمنيوم والقصدير والحديد والرصاص وغيرها والتي تضاف كمعادن نقية. اما بالنسبة للسليكون والكاديوم والفسفور والمنغنيز فتتم اضافتها كعناصر مسبوكة مع النحاس تسمى السبائك الاساسية (Master Alloys).

اما المصدر الاخر للنحاس المستخدم كمواد اولية للمسابك هو الخردة (scrap) المعادة من عمليات التصنيع مع مراعاة عدم الخلط بين خردة السبائك المختلفة اثناء التعامل بها وذلك بالفحص الدقيق لمحتوى السبيكة وبمختلف التقنيات المتوفرة، اضافة الى التقيد بنسب محدودة من مواد الخردة كمواد اولية نسبة الى الخامات النقية عند الصهر.

### 3- 2 الصهر (Melting)

يمكن الاكتفاء بتوضيح انواع افران الصهر الخاصة بالنحاس وسبائكه. حيث يوجد نوعان اساسيان منها وهما:

#### 3- 2- 1 الافران الحثية الحلقية منخفضة التردد

( Low frequency-induction-loop furnace )

وتتكون من ملف حثي ابتدائي يحدث تيارات حثية في الشحنة المعدنية المراد صهرها. وهذا الملف مبطن بمواد سيراميكية ملائمة ومحمولة على هيكل من الفولاذ والذي يمثل المظهر الخارجي لبوتقة الفرن. تختلف طاقة وسعة هذا النوع من الافران، فعلى سبيل المثال، توجد افران بطاقة نصف طن و واحد طن او اكثر من ذلك.

يختلف عمر بطانة الفرن حسب المعدن الذي يتم صهره فيه فمثلا يبلغ عمر البطانة لفرن ذو سعة 2 طن حوالي 12 شهرا عند صهر البراص في حين يبلغ 30 شهرا عند صهر سبيكة النحاس- نيكل على فرض ثبوت ظروف التشغيل وخبرة العاملين. عند تحضير الشحنة الخاصة بسبيكة معينة يجب ان لا تتجاوز نسبة الخردة المستخدمة عن 70% في احسن الاحوال (احسن انواع الخردة) ومع هذا فان المصانع المتخصصة تستخدم نسب اقل من ذلك بكثير للمنتجات ذات المواصفات الدقيقة. وبعد شحن المواد في الفرن يتم صهرها وفي هذه الاثناء يتم تحليلها كيميائيا للتأكد من صحة نسب عناصر السبيكة المطلوبة. حيث يتم تصحيح النسب ان كان هناك اختلاف ولكن عند تجاوز نسب الشوائب عن الحدود المسموح بها (نسب عالية جدا) فانه غالبا ما يكون من الصعب بل ومن المستعصي ازالتها او خفضها وقد يضطر الى تفريغ الشحنة واعتبارها خردة (سكراب). ان هذا النوع من الافران ملائم للمسابك التي تدخل في خطتها الانتاجية تصنيع سبائك متعددة وذلك لسهولة التحول من صهر سبيكة معينة الى اخرى، فعلى سبيل المثال، يمكن التحول (وبدون تغيير بطانة الفرن) من النحاس الى سبيكة البراص (كالبراص الثنائي مثل 30-70 او 37-63) ومنها الى سبائك البراص الرصاصي.

الا ان من مساوئها ان تكاليف الطاقة الكهربائية فيها اكبر مما في انواع الافران ذات الوقود غير الكهربائي (الصلب او السائل او الغاز)، اضافة الى ارتفاع تكاليف التبطين.

3- 2- الافران ذات التسخين المباشر (Direct-Heated Furnaces)

أ- الافران العاكسة Reverberatory Furnaces

وهي افران ذات طاقة تصل الى حوالي 8 طن مكونة من الهيكل الخارجي المصنع من الفولاذ والذي يبطن من الداخل بطابوق ناري، ويحتوي على فتحة في وسط احد الواجه مخصصة للسبك وفي الوجه المقابل فتحة خاصة لازالة الخبث. ويتم شحن الفرن من فتحة في احدى النهايتين، اما النهاية الثانية فيركب فيها مشعل ذو وقود سائل حيث يتم فيه مزج الوقود السائل مع الهواء. كما ويمتاز هذا النوع من الافران بإمكانية قلبه لذلك يسمى بالفرن القلاب.

ب- الفرن العمودي (Shaft Furnace)

ان مبدا عمل هذا النوع من الافران هو صهر النحاس باستخدام الغازات الحارة من فرن عمودي دون السماح بارتفاع نسبة الاوكسجين في المعدن. وهذا النوع من الافران ذو مقطع دائري يبلغ قطره 1.5m وارتفاعه لا يقل عن 1.5m ولا يزيد على 6m ومبطن من الداخل ببطانة ملائمة لنوع السبيكة المزمع انتاجها.

ويمكن ان يشحن هذا النوع من الافران بمختلف انواع واشكال النحاس وحسب متطلبات العمل. حيث يبدأ انصهار المعدن من الجزء العلوي تحت تأثير الغازات الساخنة فينتج عن ذلك نزول المنصهر الى قعر الفرن، ويعتمد معدل الانصهار على كمية الحرارة ومقدار الشحنة. فعند صهر النحاس الكاثودي فان المنصهر يحتوي على ما يزيد عن 0.035 % من الاوكسجين و0.001% كبريت. اذ يمكن سكب النحاس او اي سبيكة اخرى على شكل قضبان نحيفة (wire bars) كما هي الحال في السبابة المستمرة، او اية اشكال اخرى.

## 3- 3 السباكة (Casting)

ان الغاية من عمليات سباكة المسبوكات ذات المقاطع الدائرية او المسطحة (Billets or Cakes) هو سكب المنصهر المعدني في قالب السباكة (Mould) الذي يثبت بصورة عمودية ثم يبرد المعدن حتى يتجمد، مع امكانية التحكم بسرعة السكب والتبريد من اجل الحصول على مسبوكات مقبولة من الناحية الفنية، وجميع التطورات والدراسات في السنوات الماضية كانت متجهة نحو تحسين نوعية المعدن المسبوك، من حيث تواجده العيوب وقلة الشوائب، وزيادة معدل الانتاج عن طريق التغييرات التقنية المختلفة. وفي ما يلي ملخص لطرائق السباكة:

## 3- 3- 1 السباكة الثابتة (Static Casting)

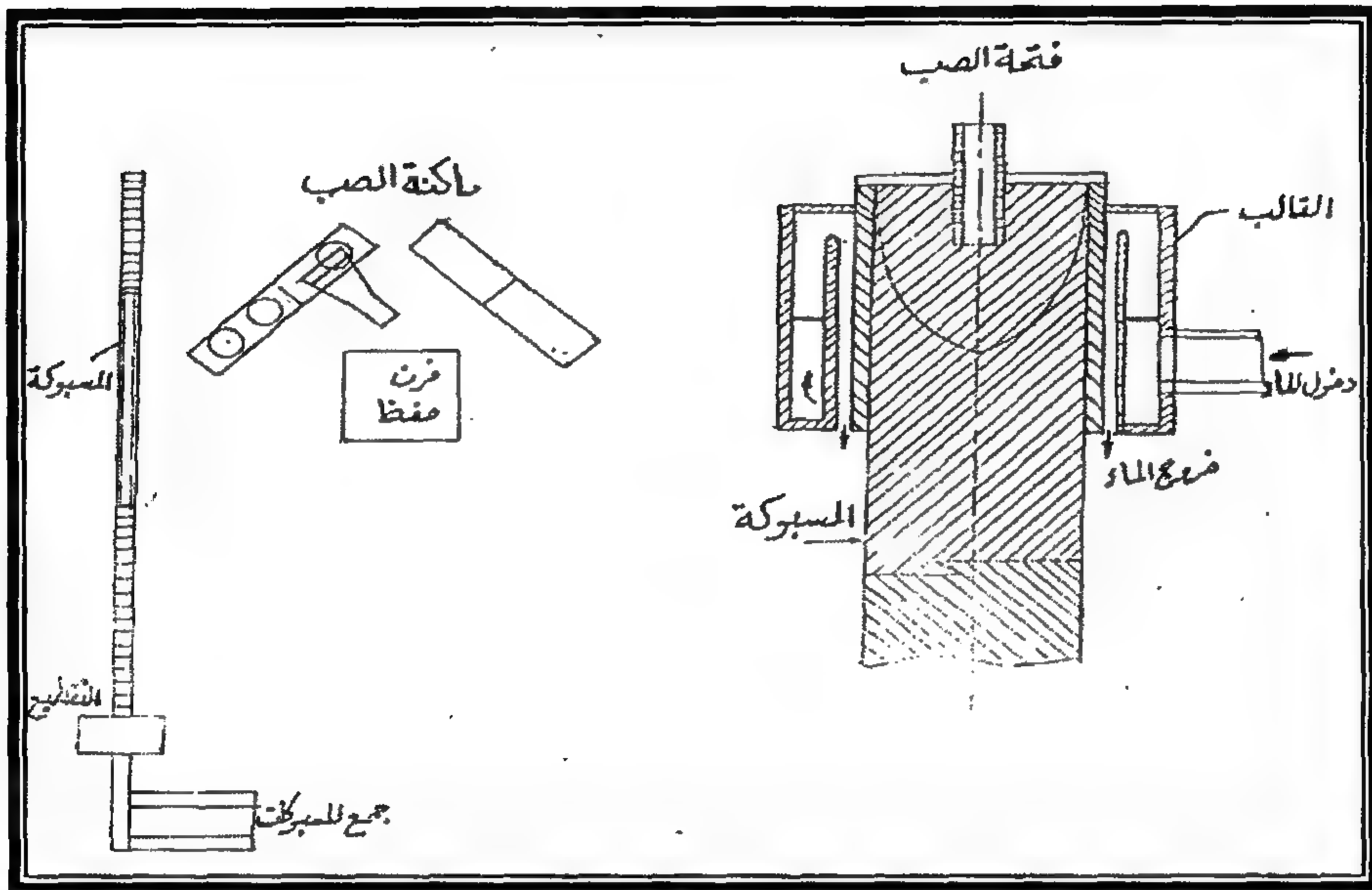
استخدمت وبصورة ضيقة قوالب السباكة الثابتة المصنعة من حديد الزهر (Cast Iron Moulds) في عمليات سباكة المسبوكات النحاسية. تغلق النهايات السفلى لهذه القوالب بمغالق من حديد الزهر ايضا. وفي هذه الطريقة تكون لمهارة عامل المسبك الاثر الكبير في جودة المسبوكات من خلال اجراء الفحص الخاص بالقالب قبل البدء بعملية السباكة وتزييته بطريقة خاصة وذلك باستخدام زيت سائل تضاف اليه مواد صلبة. لهذا النوع من السباكة بعض المساوئ اهمها هي ان طول المسبوكة محدود حيث يصل الى حوالي 1.5m، وانتاجيتها منخفضة وذلك بسبب ضرورة قطع نهايتي المسبوكة الحافية على العيوب. ان حدوث هذه العيوب في الطرائق الاخرى اقل احتمالا.

## 3- 3- 2 السباكة شبه المستمرة (Semi-Continuous Casting)

يعتبر هذا النوع من السباكة هو الافضل حاليا في انتاج المسبوكات حيث يتم تبريد المعدن الخارج من القالب (Mould) بالماء مباشرة، ويمتاز القالب بقصر طوله حيث يتراوح بين 125-455mm، اما طول المسبوكة فيتراوح بين 3-6m او اكثر، ويتكون التركيب الخاص بالسكب من عمودين او ثلاثة حيث يتم تركيب بطانة القالب المصنعة من النحاس بهيكل يتكون من مجموعة تراكيب مخصصة لتنظيم عملية القالب والمعدن المسبوك.



تؤثر في عملية السباكة بصورة عامة مجموعة من العوامل أهمها حرارة المعدن المنصهر ومعدل التبريد (جريان ماء التبريد)، وسرعة السكب وسرعة التبريد والحركة الاهتزازية لقالب السكب. يمثل الشكل (3-1 أ وب) رسم تخطيطي لكيفية توزيع معدات هذا النوع من المسابك إضافة لمخطط قالب السباكة بالطريقة شبه المستمرة العمودية.



الشكل (3-1)

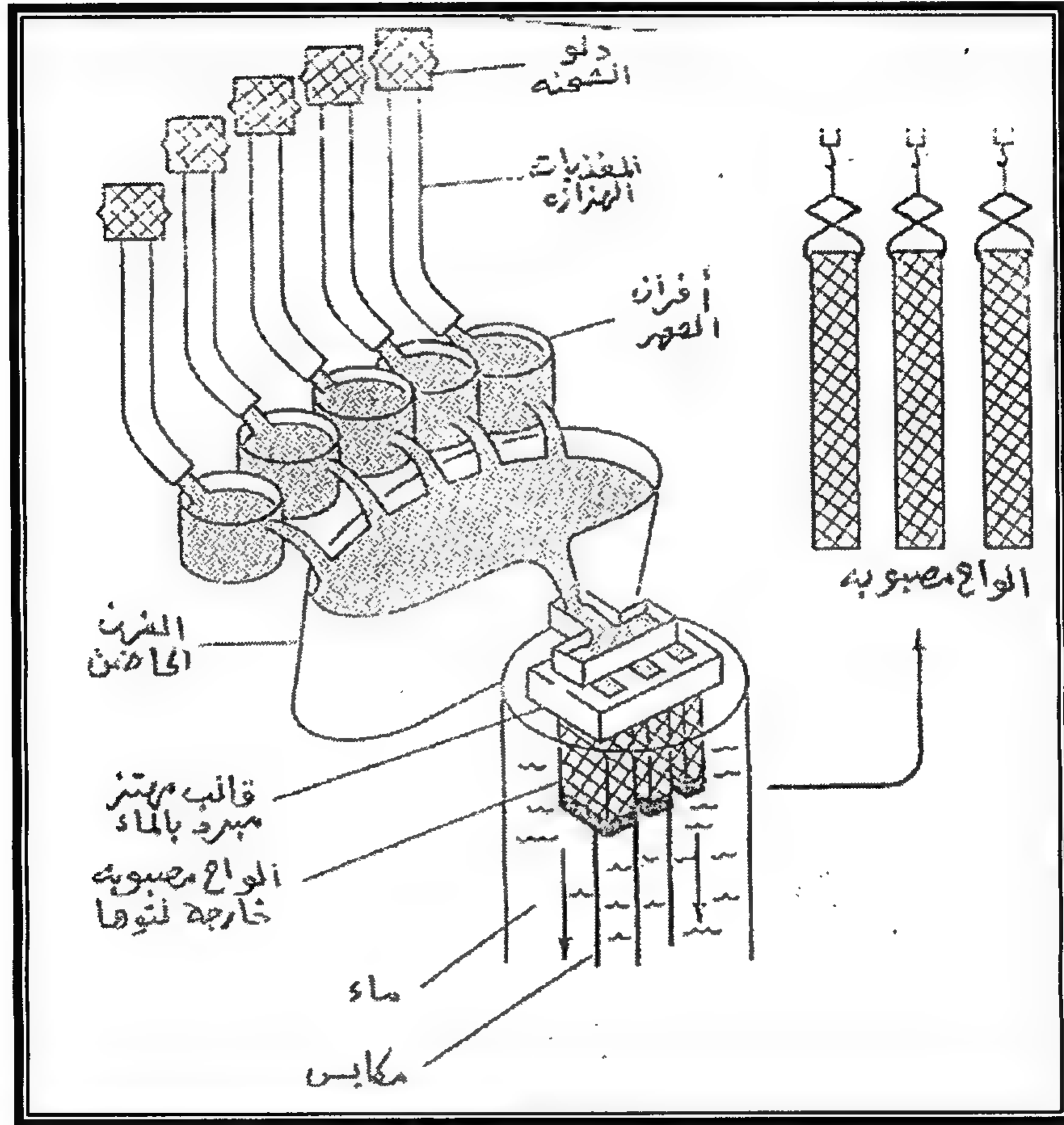
مخطط لمعدات وقالب السباكة بالطريقة شبه المستمرة العمودية.

### 3-3 السباكة المستمرة Continuous Casting

في هذا النوع من السباكة يتم صب المعدن في قالب سباكة متذبذب (هزاز) محكم التركيب (Precise Constructed Vibrating Casting Mould) مبرد بالماء وتحدد أبعاده الداخلية أبعاد وشكل المنتج المسبوك. إذ يتم مسك النهاية المتجمدة ويسحب بعيداً عن



القالب ويمرر خلال اسطوانات موجهة لايصاله الى مرحلة التقطيع بالاطوال المطلوبة. وهناك طريقتان للسباكة المستمرة، هما السباكة المستمرة العمودية والسباكة المستمرة الافقية. والطريقة السائدة في انتاج المعادن اللاحديدية هي الطريقة الافقية في حين ينتج الفولاذ بالطريقة العمودية.

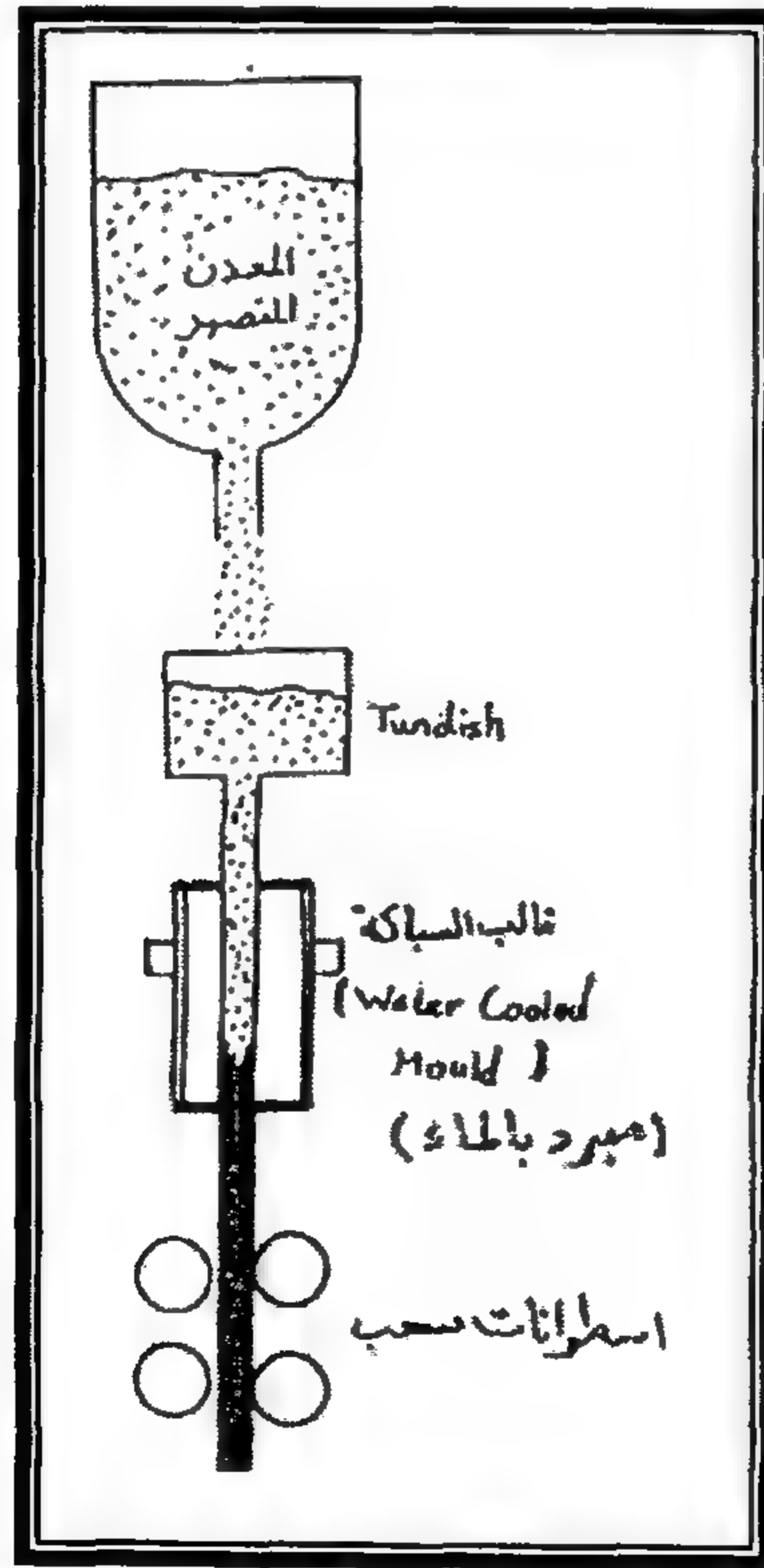


الشكل (3-1ب)

مخطط توضيحي يبين كامل عملية صب الالواح بالطريقة شبه المستمرة العمودية.

### ١- السباكة المستمرة العمودية (Vertical Continuous Casting Method)

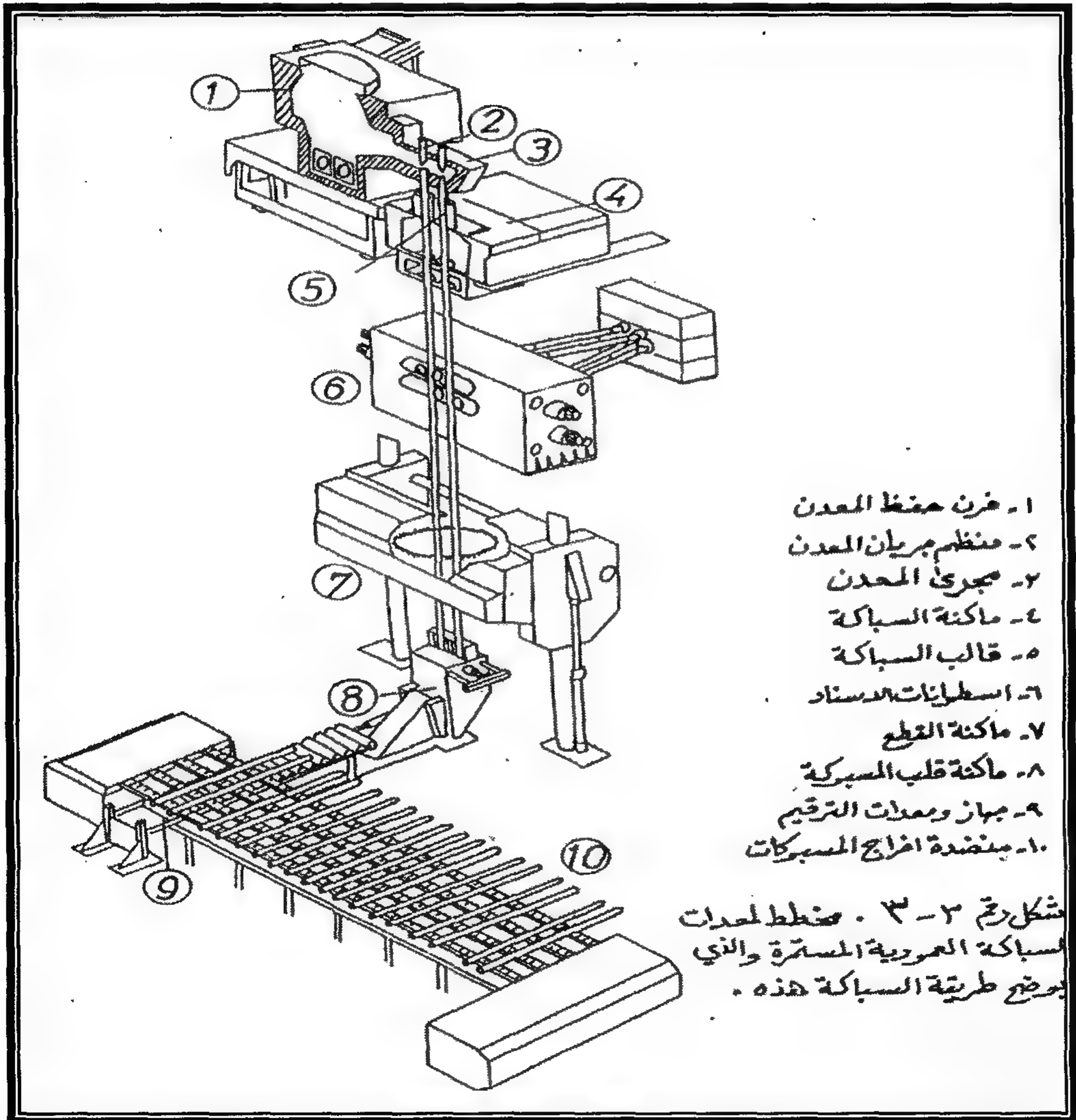
يبين الشكل (2-3) مخطط لعملية سكب (صب) المعدن بهذه الطريقة ويتم تفريغ المعدن المنصهر من الفرن (البوتقة) لينقل منها الى وعاء مبطن حافظ (Tundish)، والذي قد يحتوي على عدد من المصببات، ثم يسكب المعدن منه الى القالب الخاص الذي يبرد بوساطة تيار من الماء اللازم لتبريده بصورة مناسبة مع المعدن المسكوب فيه. وبعد عملية السكب وتجمد بداية المعدن الخارج يتم سحبه من اسفل القالب في حين تستمر عملية السكب وتحريك القالب لمنع التصاق المعدن به ويبين الشكل (3-3) مخطط كامل لمعدات عملية السباكة العمودية المستمرة.



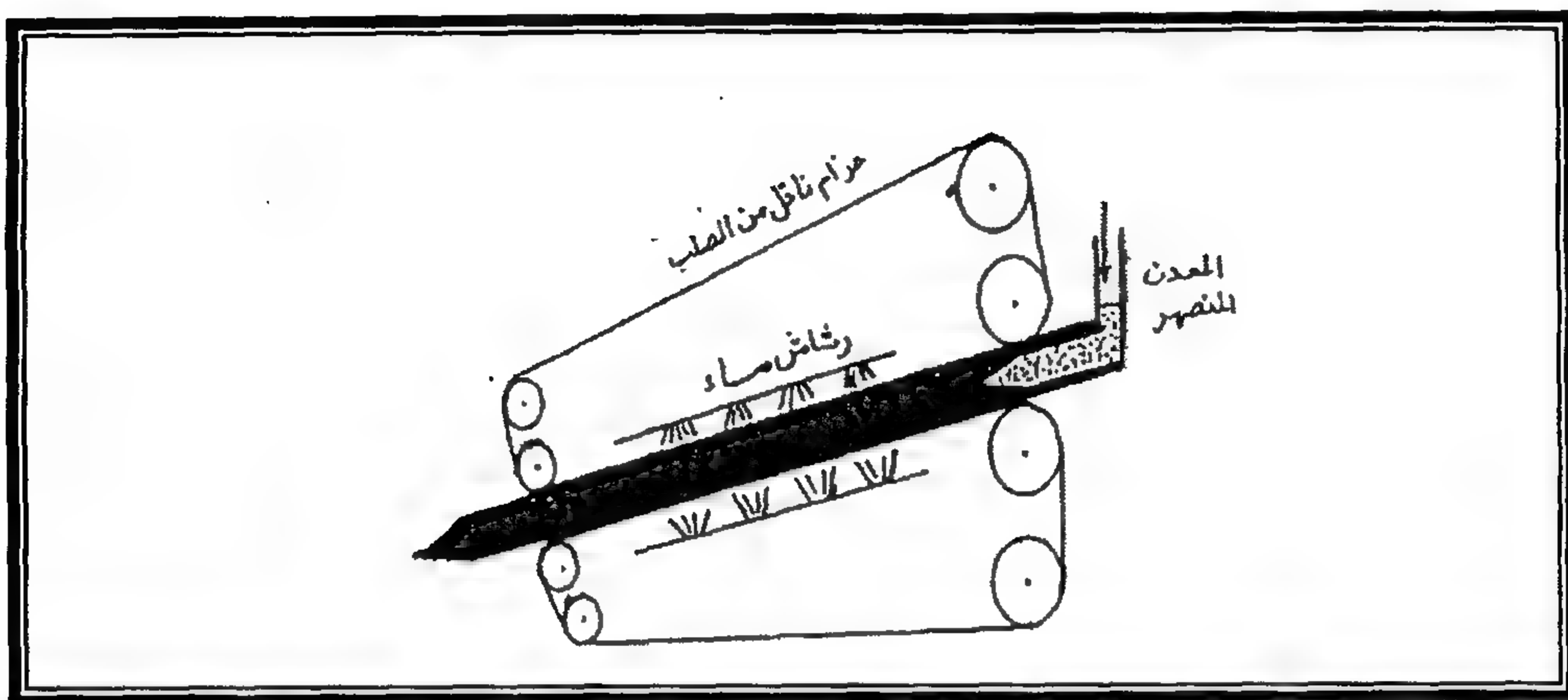
شكل رقم (2-3)

طريقة السباكة المستمرة العمودية.

وتنظم سرعة سحب المعدن المتجمد الخارج من القالب بالتوافق مع سرعة سكب المعدن بحيث يبقى مستوى المعدن في الوعاء المبطن الحافظ ثابتا. وتستخدم زيوت نباتية خاصة لتزييت القالب والمعدن المسبوك. يبقى قلب (مركز) المعدن المسبوك غير كامل التجمد والى مسافة محددة بعد القالب. ولذلك يتم تسليط رشاش من الماء على المعدن الكائن بين القالب واسطوانات السحب لتبريد الحرارة داخل المسبوك.



وتستخدم مكائن خاصة لسباكة الصفائح تسمى هازليت (Hazlet) موضحة في الشكل التخطيطي (3-4). وتتكون الماكينة من حزامين من الفولاذ مائلين بزاوية معينة ويتحركان بصورة متوافقة بحيث يسكب المعدن المنصهر بينهما في اعلى نقطة، وتتقدم الصفيحة المتجمدة من الجانب الاخر.



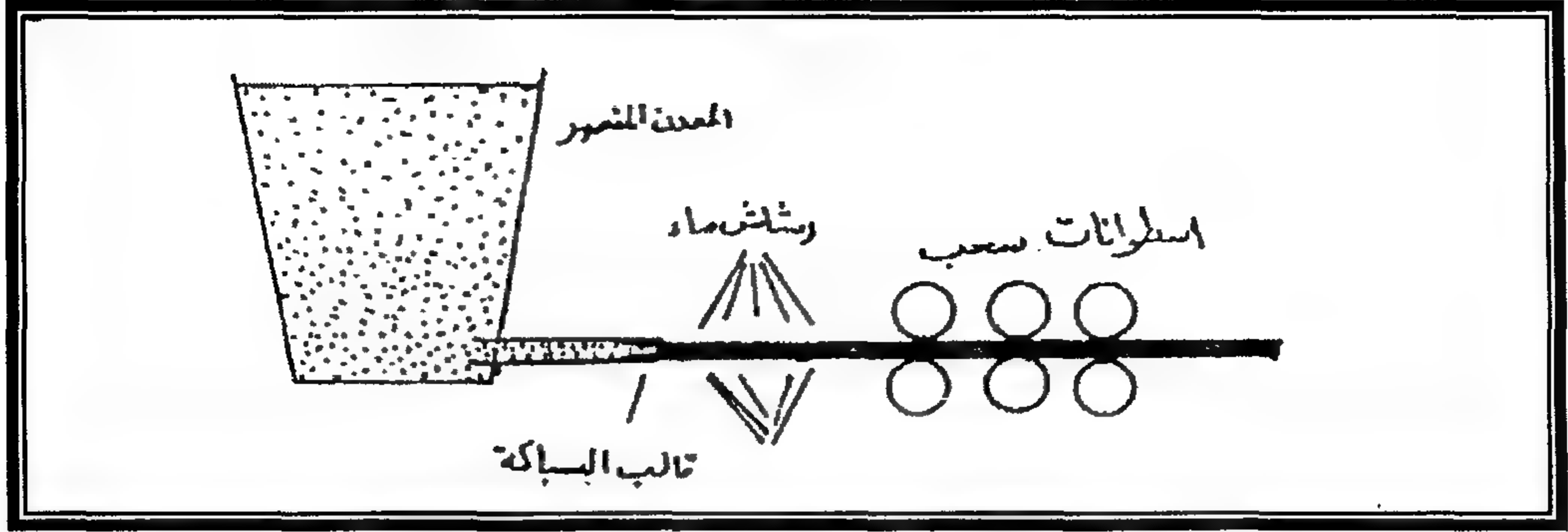
شكل (3-4)

#### طريقة السباكة المستمرة (الهازليت)

#### ب- السباكة المستمرة الافقية (Horizontal Continuous Casting)

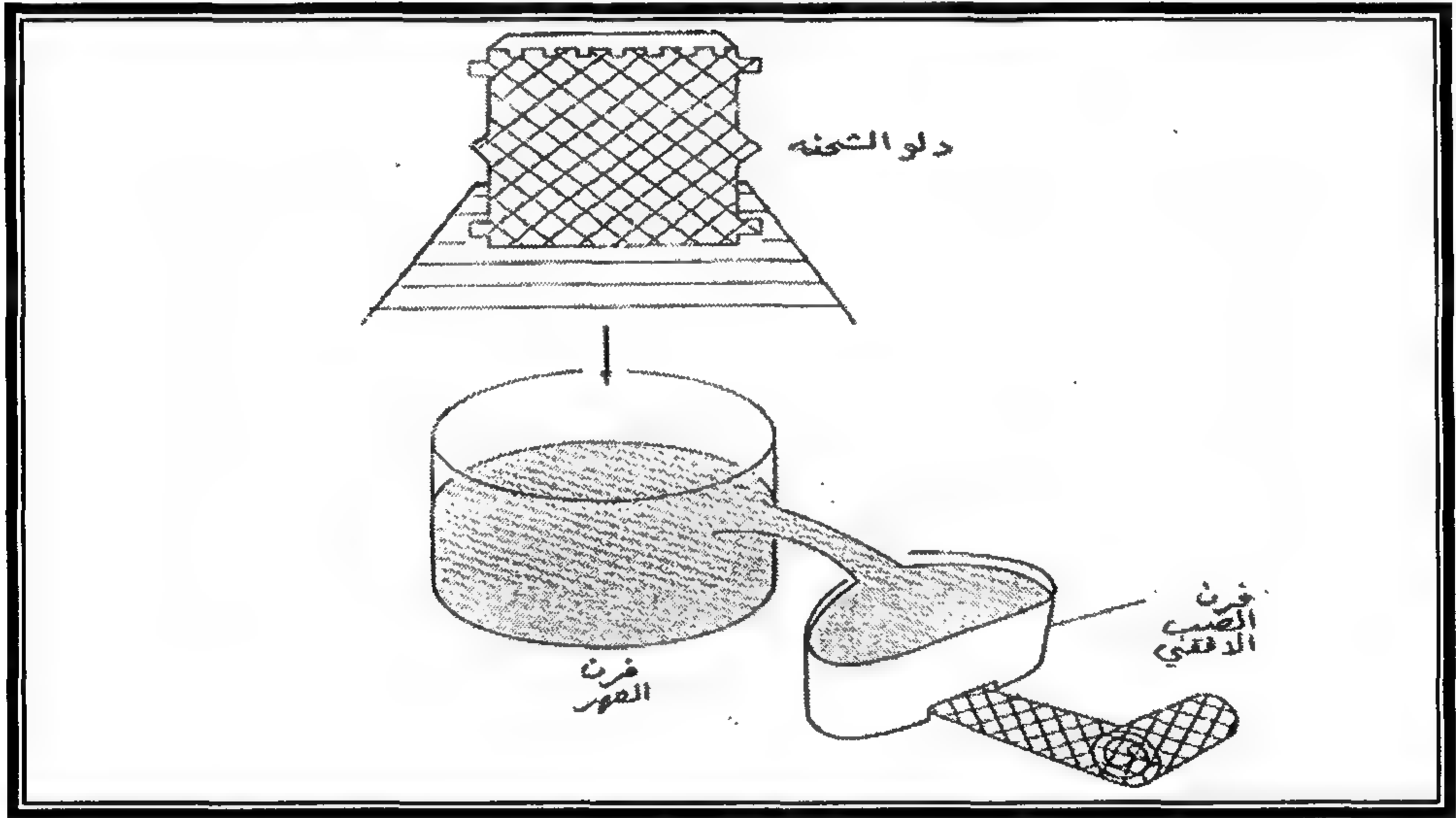
تمتاز المعدات اللازمة لهذه الطريقة من السباكة بكونها اصغر حجما بكثير من سابقتها من طرائق السباكة وذلك لكون الهياكل الفولاذية اللازمة في الطريقة الاولى كبيرة الا انها ليست ضرورية في هذه الطريقة. لهذا تكون تكاليف الانتاج تبعا لذلك اقل وعملية تبريد المعدن اسهل ولا حاجة لثني المعدن الى الوضع الافقي لتقطيعه كما هو الحال في الطريقة الاولى لكونه في وضع افقي اساسا. ومن الممكن اجراء عمليات الصهر والسباكة اللازمة للنحاس وسبائكه وبصورة اقتصادية باستخدام وحدة واحدة متكاملة لهذا الغرض مع امكانية توفير ظروف خاصة للسباكة كاجراء عملية السباكة في جو واق. وبذلك يتم توفير بعض الخسائر الناتجة عن عملية نقل المعدن المنصهر من وحدة الى اخرى والشكل التخطيطي (3-5 أ و ب) يوضح ذلك.





الشكل (3-5 أ)

طريقة السباكة المستمرة الافقية.



الشكل (3-5 ب)

مخطط توضيحي كامل لعملية السباكة المستمرة الافقية ولف الشريط المنتج، والمنتج المصبوب يلف مباشرة بدون الحاجة الى الدرفلة الحارة.



### 3- 3- 4 مزايا السباكة المستمرة ومساوئها:-

#### أ- مزايا السباكة المستمرة

- 1- كلفة الانتاج اقل من باقي الطرائق الاخرى، حيث يمكن الغاء عملية تصنيع المسبوكات واعادة تسخينها للتهيئة لعملية التشكيل الحار
- 2- عدد الايدي العاملة اللازمة لانتاج الطن الواحد اقل، اضافة الى اختصار مساحة العمل اللازمة.
- 3- الانتاجية فيها أكبر من باقي الطرائق لكون نسبة الخردة (السكراب) الراجعة اقل.
- 4- يمكن تصنيع اشكال صغيرة وبمقاطع مختلفة.
- 5- السبائك التي يصعب تشكيلها يمكن ان تسبك الى منتجات قريبة من الابعاد المطلوبة.

#### ب- مساوئ السباكة المستمرة

- 1- معدل المقاس الحبيبي (البلوري) للمعدن المسبوك بهذه الطريقة يكون كبير نسبيا ولذلك يتطلب معاملات خاصة لتحقيق المواصفات المطلوبة، أو اضافة قليل من معدن اوسبيكة لزيادة مقدار التثوية (nucleation) ومن ثم تصغير مقاس البلورات (grains).
- 2- يجب السيطرة على العملية بصورة دقيقة.
- 3- اي توقف عن العمل قد يسبب عطل المعدات ومن ثم قد يسبب تراكم خطير للمعدن المنصهر.



## **الفصل الرابع**

### **البثق والسحب**

Extrusion and Drawing



## الفصل الرابع

### البثق والسحب

#### Extrusion and Drawing

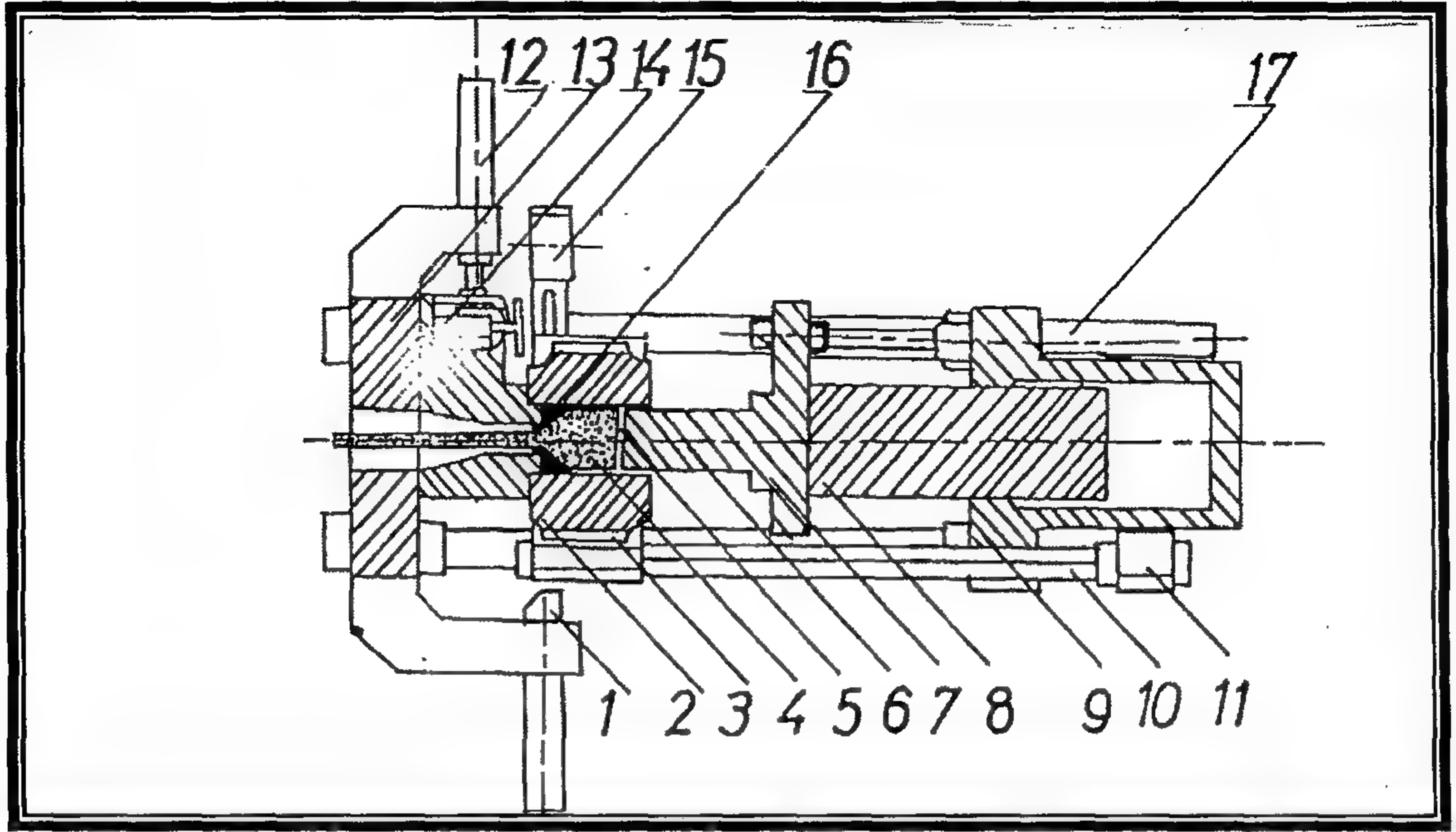
يمكن استخدام مكابس البثق ومكائن السحب في تصنيع الاشكال المختلفة من المنتجات المصنعة من النحاس وسبائكه. سيتم شرح عمليات البثق والسحب والمكائن المستخدمة والطرائق المختلفة لعمليات التصنيع والتقنيات المستخدمة في صناعة النحاس وسبائكه.

#### 4- 1 البثق ( Extrusion )

##### 4- 1- 1 البثق الهيدروستاتي Hydrostatic Extrusion

كانت مكابس البثق الهيدروستاتية محصورة في استخدامها بعمليات البثق البارد. ولكن بعد التطورات التقنية التي حصلت في السنوات الاخيرة، فقد تم ادخال مكابس البثق الهيدروستاتية في عمليات البثق الحار وذلك باجراء بعض التغييرات التصميمية على طريقة عملها ونوعية الوسط المائع المستخدم. يبين الشكل (4-1) الاجزاء الرئيسة لهذا النوع من المكابس.





شكل (1-4)

### مكبس البثق الهيدروستاتي

- |     |                          |                   |
|-----|--------------------------|-------------------|
| 1.  | اسطوانة القص             | shear cylinder    |
| 2.  | حاوية                    | container         |
| 3.  | حامل الحاوية             | container holder  |
| 4.  | المسبوكة                 | billet            |
| 5.  | وسط الضغط                | Pressure medium   |
| 6.  | ذراع المكبس              | ram               |
| 7.  | رأس المكبس               | cross head        |
| 8.  | الاسطوانة الرئيسية       | main cylinder     |
| 9.  | هيكل الاسطوانة الرئيسية. |                   |
| 10. | عمود                     | column            |
| 11. | موقف الحاوية             | container stopper |

12. اسطوانة تبديل موقع اسطوانة الدفّاع

13. مقدمة المكبس press platen

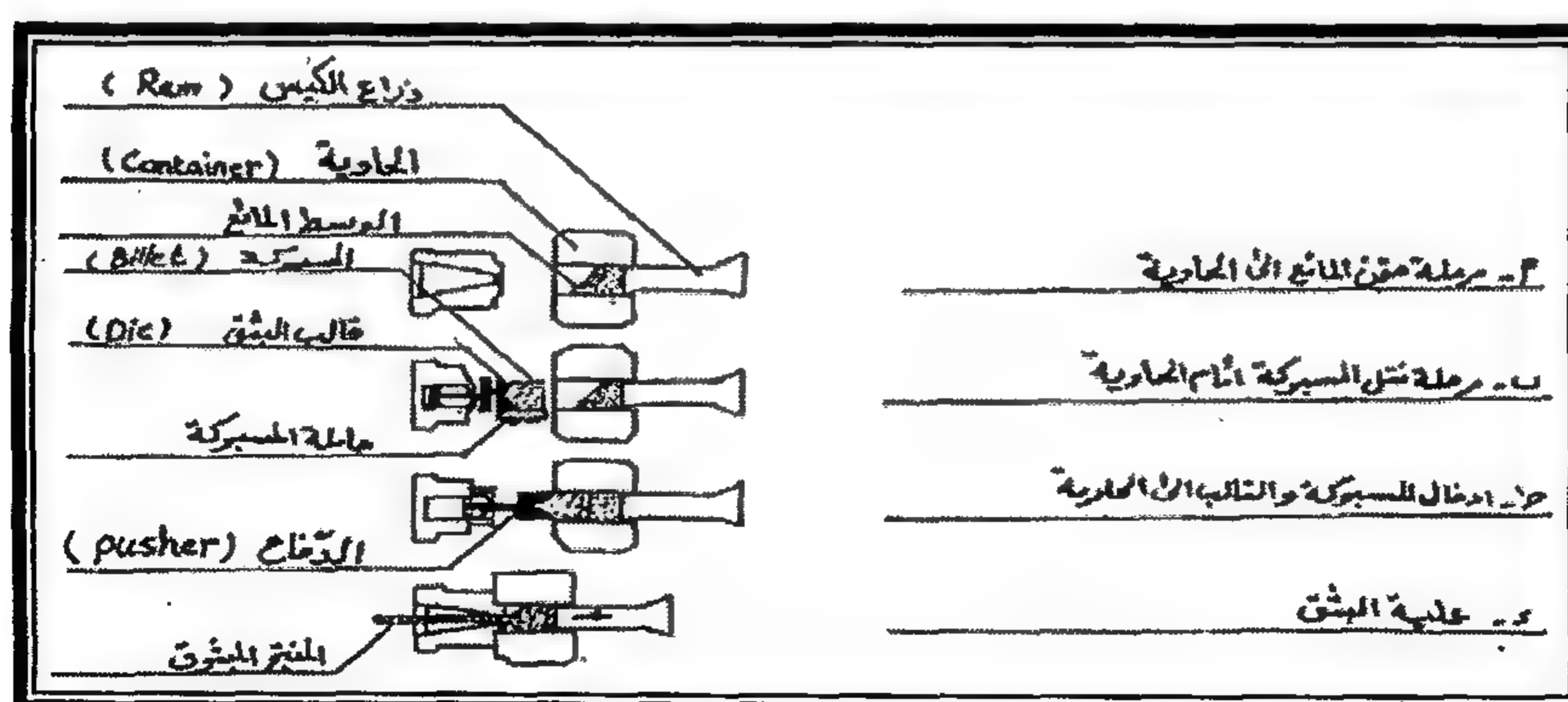
14. اسطوانة الدفّاع pusher cylinder

15. جهاز شحن الوسط المائع.

16. القالب die

17. الاسطوانة الجانبية lateral cylinder

ويبين الشكل (2-4) فكرة عمل هذا النوع من المكابس حيث يتم نقل قوة دفع المكبس من ذراع الكبس (Ram) الى المعدن المراد بثقه عن طريق وسط مائع، ويستخدم لهذا الغرض شحم الكرافيت (Graphite grease) او زيت حيواني مضافا اليه مادة اخرى، على سبيل المثال 10 % من كبريتات المولوبدينوم. كما يوضح الشكل ايضا تسلسل العمليات اذ يحقن المائع المستخدم داخل الحاوية ويتم المحافظة على كون مقدمة المائع اقل سيولة من بقية الكمية وذلك لمنع خروجه من الحاوية، ثم يتم ادخال المسبوكة والقالب وتوضع امام الحاوية ويتولى الدافع (Pusher) ادخالها الى الحاوية. ونتيجة لارتفاع درجة حرارة المائع بسبب ملاصقة المسبوكة له، تزيد سيولته وتقل لزوجته، حيث يمنع خروجه وجود سداد محكم (Seal) خاص. وعند ذلك تتقدم الحاوية وما فيها وتصبح في وضع محكم مع الساند (Bolster). وبذلك تبدأ عملية البثق بتقدم المكبس.



شكل (2-4)

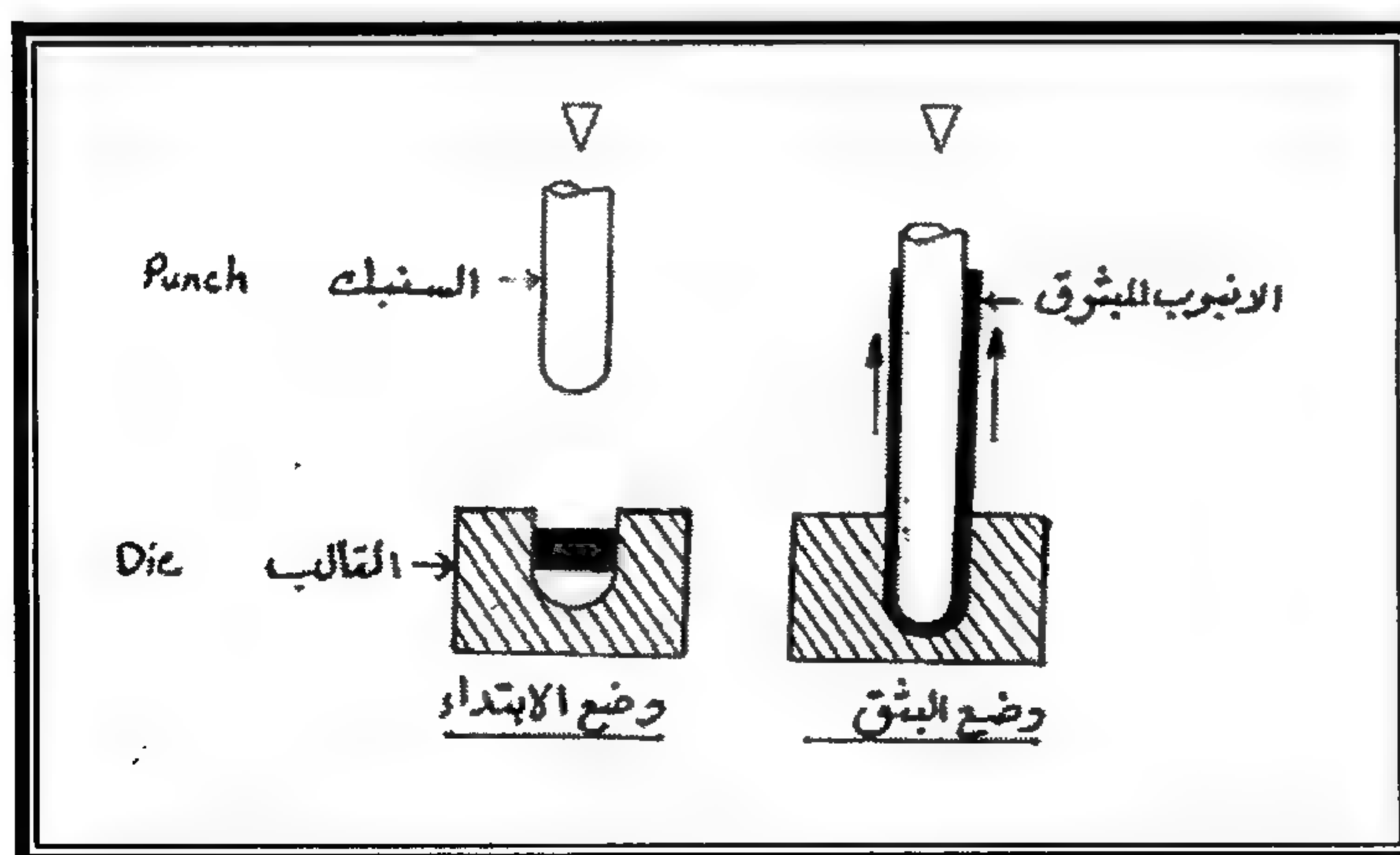
يوضح عملية البثق الهيدروستاتي.

### مزايا البثق الهيدروستاتي:

- 1- الفقدان الحراري من المسبوكة قليل وينتج عنه تجانس حراري جيد مما يضمن تجانس خواص المنتج المبثوق.
- 2- يمكن الحصول على بنية مجهرية ذات بلورات ناعمة وعلى مدى طوله، إضافة الى تحقيق سماحات دقيقة للمنتج.
- 3- يحقق الزيت المستخدم تزييتا بمستوى جيد في عملية تزييت القالب مما يؤدي الى نوعية سطح جيدة للمنتج.
- 4- يمكن ان يستخدم هذا النوع من البثق لانتاج القضبان والاسلاك وكافة المتوجات ذات المقاطع المختلفة.

### 4-1-2 البثق الصدمي (Impact Extrusion)

وهي عملية تشكيل على البارد، الشكل (3-4)، حيث تتكون العدد المستخدمة من جزئين هما السنك (Punch) والقالب (Die) حيث يتم اسقاط الاول بقوة وبصورة متمركزة على قرص من المعدن المراد بثقه والذي يوضع داخل القالب حيث ينتج عن ذلك الانبوب المبثوق.

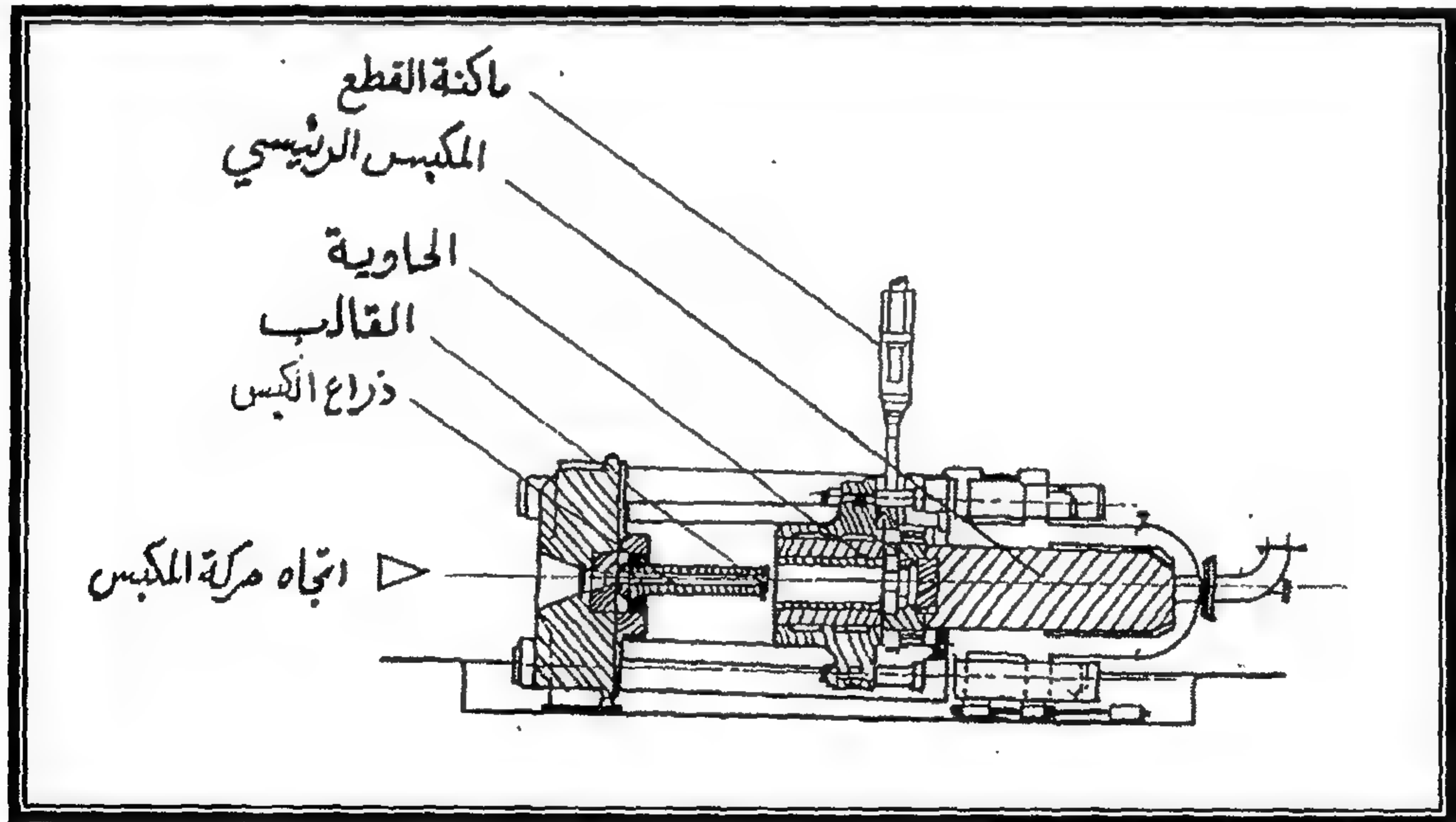


شكل (3-4)

عملية البثق الصدمي والعدد المستخدمة.

#### 4-1-3 البثق العكسي (غير المباشر) (Indirect Extrusion)

يتلخص هذا النوع من البثق في ان القالب مركب على راس ذراع الكبس (Ram) فيضغط القالب على المعدن المراد بثقه مما يؤدي الى خروجه عكس اتجاه الحركة ولذلك يشترط ان يكون الكابس مجوف ليسمح بخروج المعدن المبثوق. وتكون الحاوية في هذا النوع ثابتة ومغلقة من احدى نهايتيها فلا توجد حركة نسبية بين المسبوكة والحاوية مما يجعل القوة اللازمة لعملية البثق اقل مما هي عليه في طريقة البثق المباشر. ومن محاسنه هو ان اسلوب جريان المعدن (Flow Pattern) جيد ولا يوجد فيه عيب النهايات (Backend defect). اما اهم مساوئها هو ان المكبس الخاص بهذا النوع اكثر تعقيدا بسبب نوع الكابس اضافة الى امور فنية اخرى. ويبين الشكل (4-4) مخططا للاجزاء الرئيسية لمكبس بثق من هذا النوع.



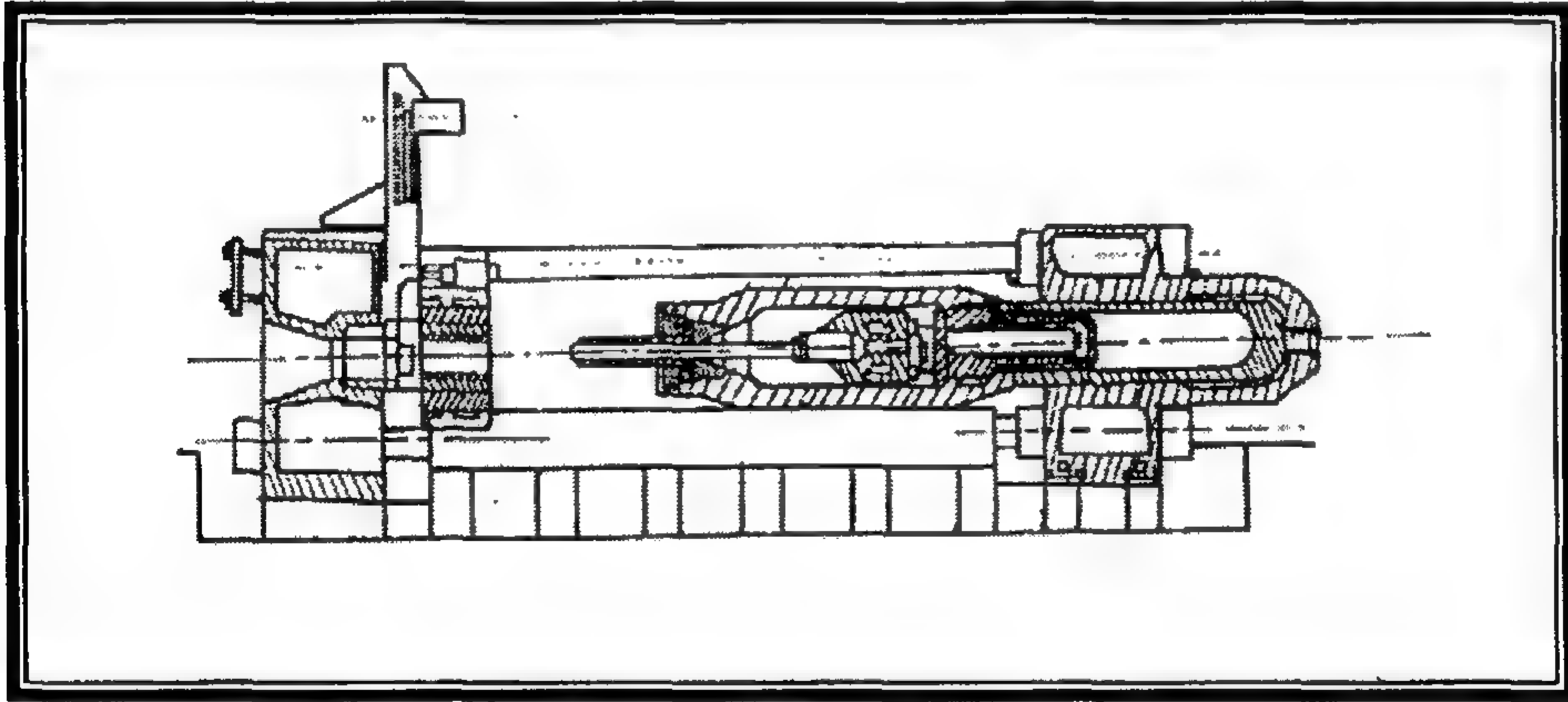
شكل (4-4)

مكبس البثق العكسي (غير المباشر).



#### 4-1- البثق المباشر (Direct Extrusion)

يتم في هذا النوع تسخين المسبوكة الى درجة الحرارة الملائمة و ادخالها في الحاوية ومن ثم تجرى عملية ضغط المعدن تحت قوة دفع المكبس، حيث يجبر المعدن على الخروج من فتحة القالب، لياخذ المعدن المبتثق الشكل والمقطع الداخلي للقالب وقياساته. يكون خروج المعدن باتجاه حركة المكبس. وبسبب الاحتكاك الناشيء بين المسبوكة وجدار الحاوية يكون جريان المعدن قرب جدار الحاوية بسرعة تختلف عن سرعة جريان قلب (مركز) المسبوكة. وتختلف هذه الظاهرة من معدن الى اخر اضافة الى درجة حرارته. ويبين الشكلان (4-5) و (4-6) الاجزاء الرئيسة لمكبس بثق مباشر (Direct Extrusion Press) لإنتاج القضبان والمقاطع والانابيب.



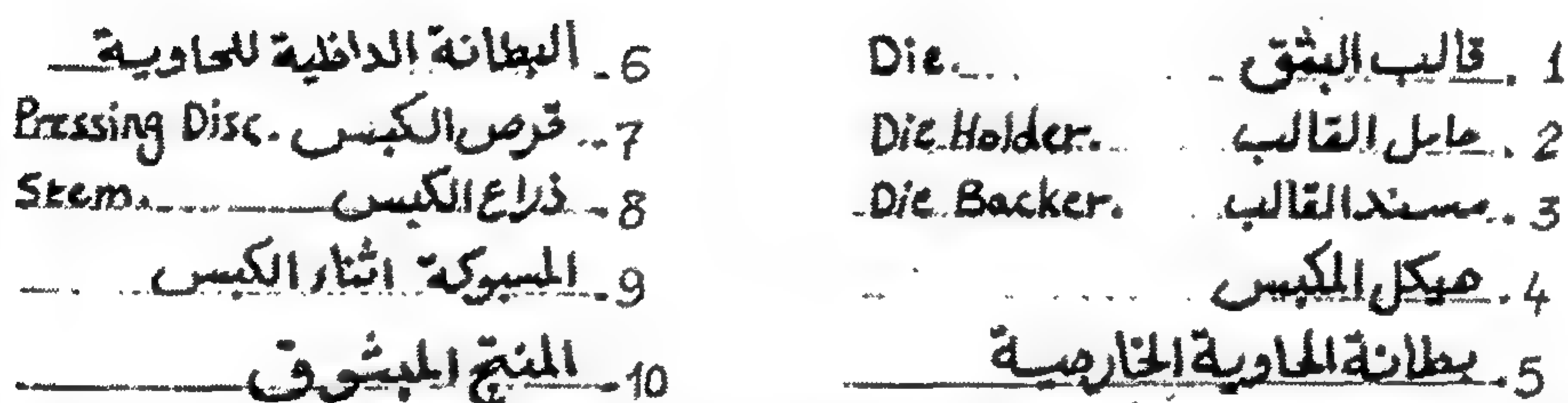
الشكل (4-5)

مكبس البثق المباشر للقضبان والمقاطع والانابيب.



الشكل (4-6)

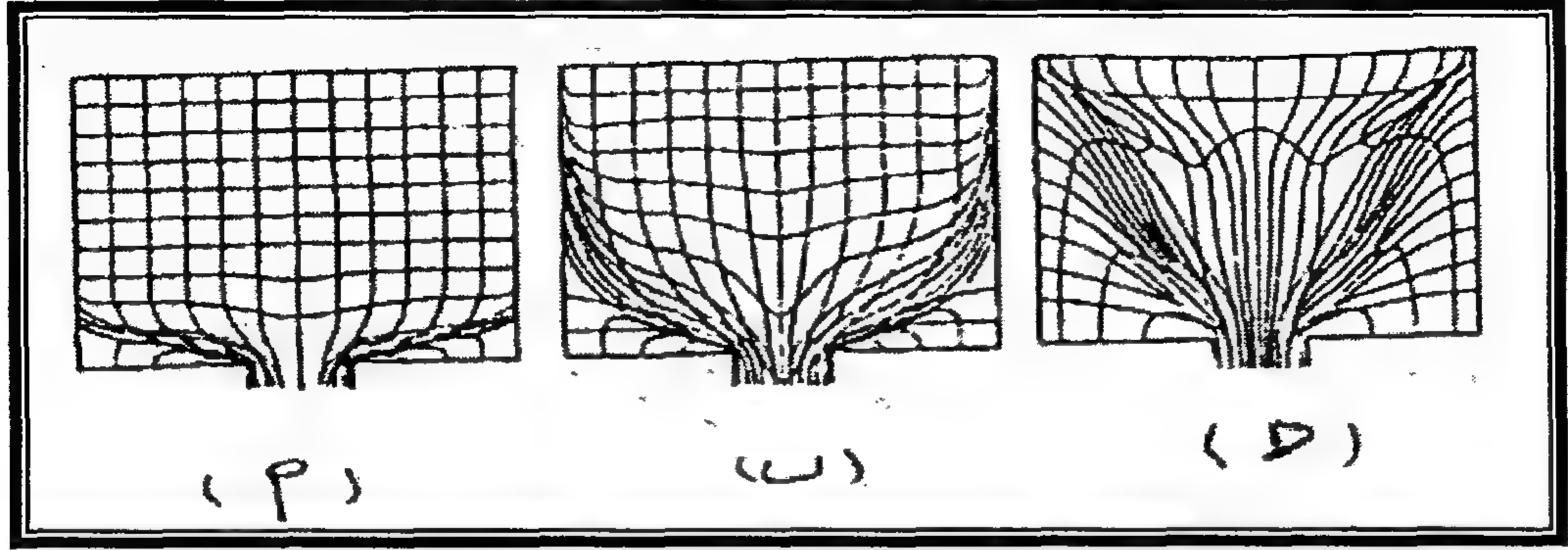
**عملية البثق المباشر للقضبان والعدد المستخدمة فيها.**



تقسم اساليب جريان المعدن اثناء البثق المباشر للنحاس وسبائكه الى ثلاثة اساليب، كما في الشكل (4-7)، (Patterns of Flow) وهي أ و ب و ج.

#### شكل (4-7)

طرائق جريان النحاس و سبائكه اثناء عملية البثق المباشر.



اما العوامل التي تؤثر على خواص المعدن المبثوق فيمكن تمثيلها في مجموعتين هما ظروف المعدن قبل البثق وظروف عملية البثق.

4- 2- 1 ظروف المعدن قبل البثق ويدخل في ذلك ما يأتي:

1- نوع السبيكة من حيث خواصها الميكانيكية وتكوينها الكيميائي والشوائب الاخرى. حيث ان اي اختلاف في التحليل الكيميائي ينتج عنه خواص مختلفة، ويدخل في الخواص الميتالورجية تاثير بنية المعدن والاطوار المتواجدة فيها.

2- الطاقة الداخلية للمعدن وهي في الاساس طاقة الانخلاعات ( Dislocation Energy).

4- 2- 2 ظروف عملية البثق، وتتلخص بالعوامل الرئيسة الاتية:

1- نسبة البثق (E.R.) (Extrusion Ratio)

وهي عبارة عن نسبة مساحة مقطع الحاوية الى مساحة مقطع المعدن المبثوق اي

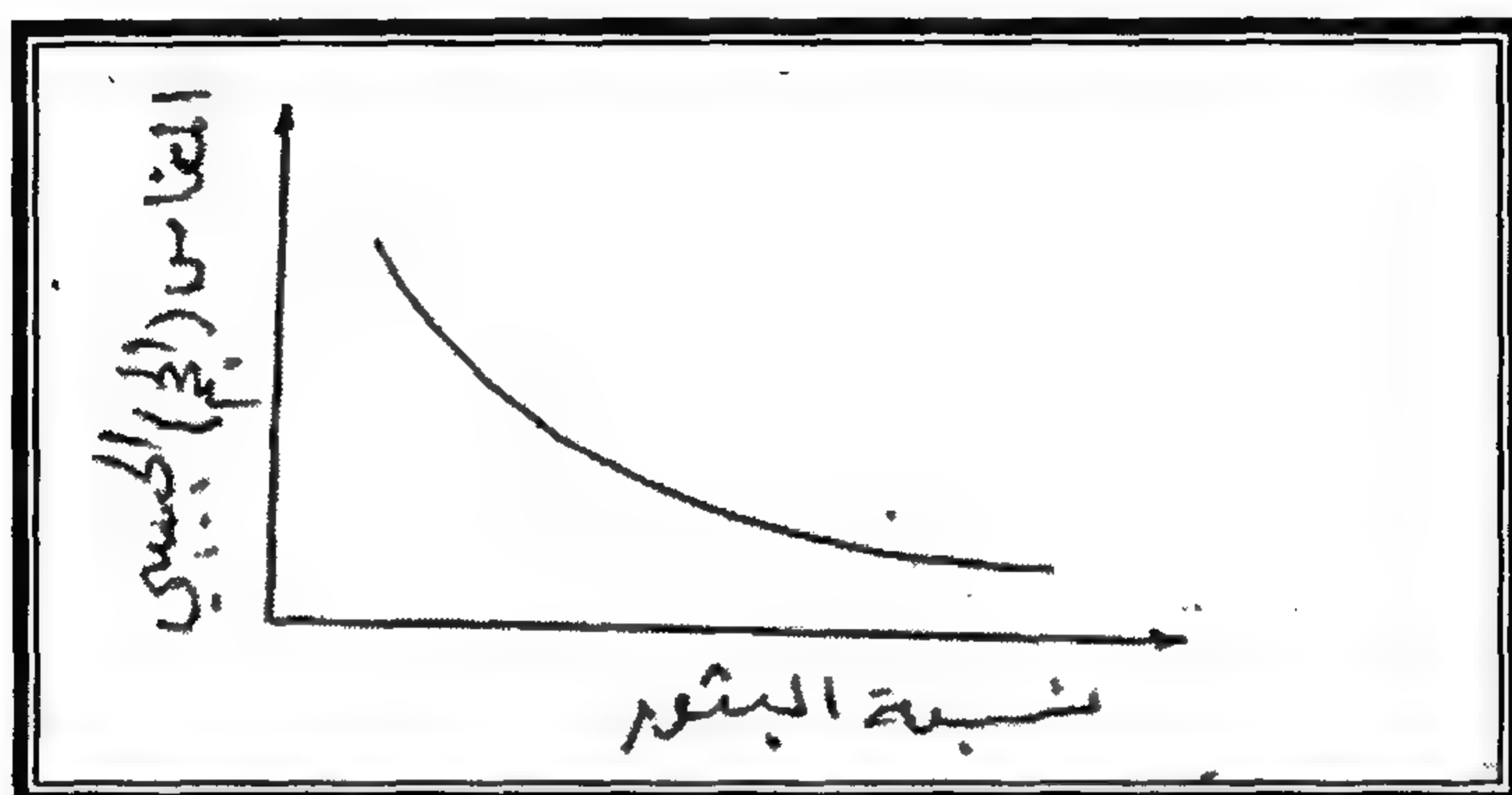
$$E.R. = A / a$$

حيث ان

$A$  = مساحة مقطع الحاوية

$a =$  مساحة مقطع المعدن المبثوق

ويبين الرسم البياني (الشكل 4-8) مدى تأثير هذه النسبة على المقاس (الحجم) البلوري الناتج للمعدن المبثوق. وشكل هذا المنحني مأخوذ من تجارب عملية أجريت على سبيكة براض - ألفا (30-70) وعلى النحاس النقي. ومن ذلك يتضح انه كلما زادت نسبة البثق كان المقاس (الحجم) البلوري اصغر وبالتالي يؤثر ذلك على خواص المعدن المبثوق.

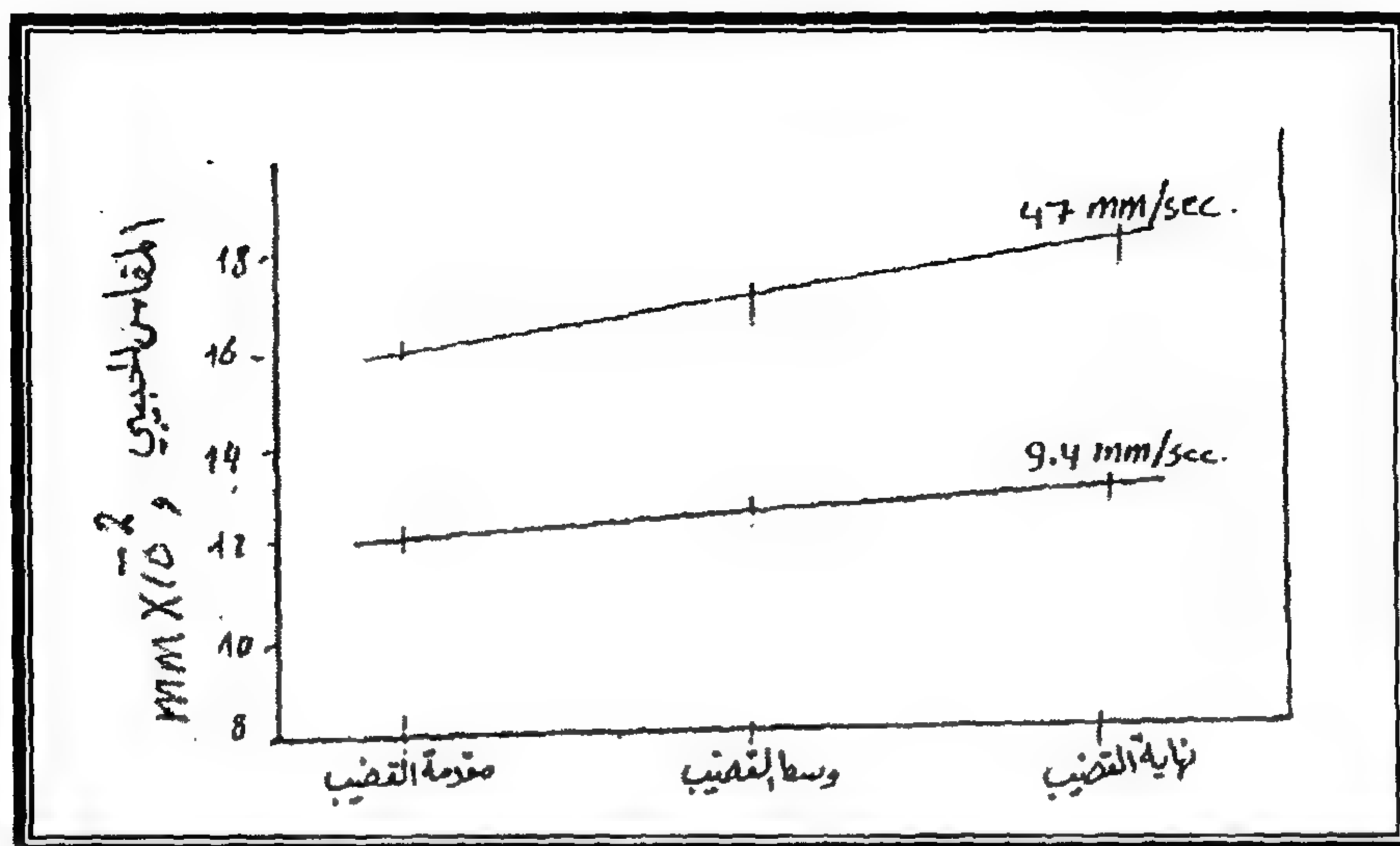


شكل (4-8)

تأثير نسبة البثق على المقاس الحبيبي للمنتج المبثوق.

2- سرعة البثق (Extrusion Speed)

تؤثر سرعة البثق على الخواص الميتالورجية للمنتج المبثوق وبصورة واضحة على المقاس (الحجم) البلوري والذي بدوره يحدد الخواص الميتالورجية والميكانيكية للمعدن. ويبين الشكل (4-9) الرسم البياني لتأثير سرعة البثق على المقاس البلوري حيث تم بثق مجموعتين من قضبان البراض (30-70) تحت نفس الظروف مع استخدام سرعتي بثق مختلفتين هما 9.4 mm/s في الاولى و 47 mm/s في الثانية. يتضح من ذلك انه كلما كانت سرعة البثق اكبر كلما كان معدل المقاس البلوري الناتج اكبر.



الشكل (9-4)

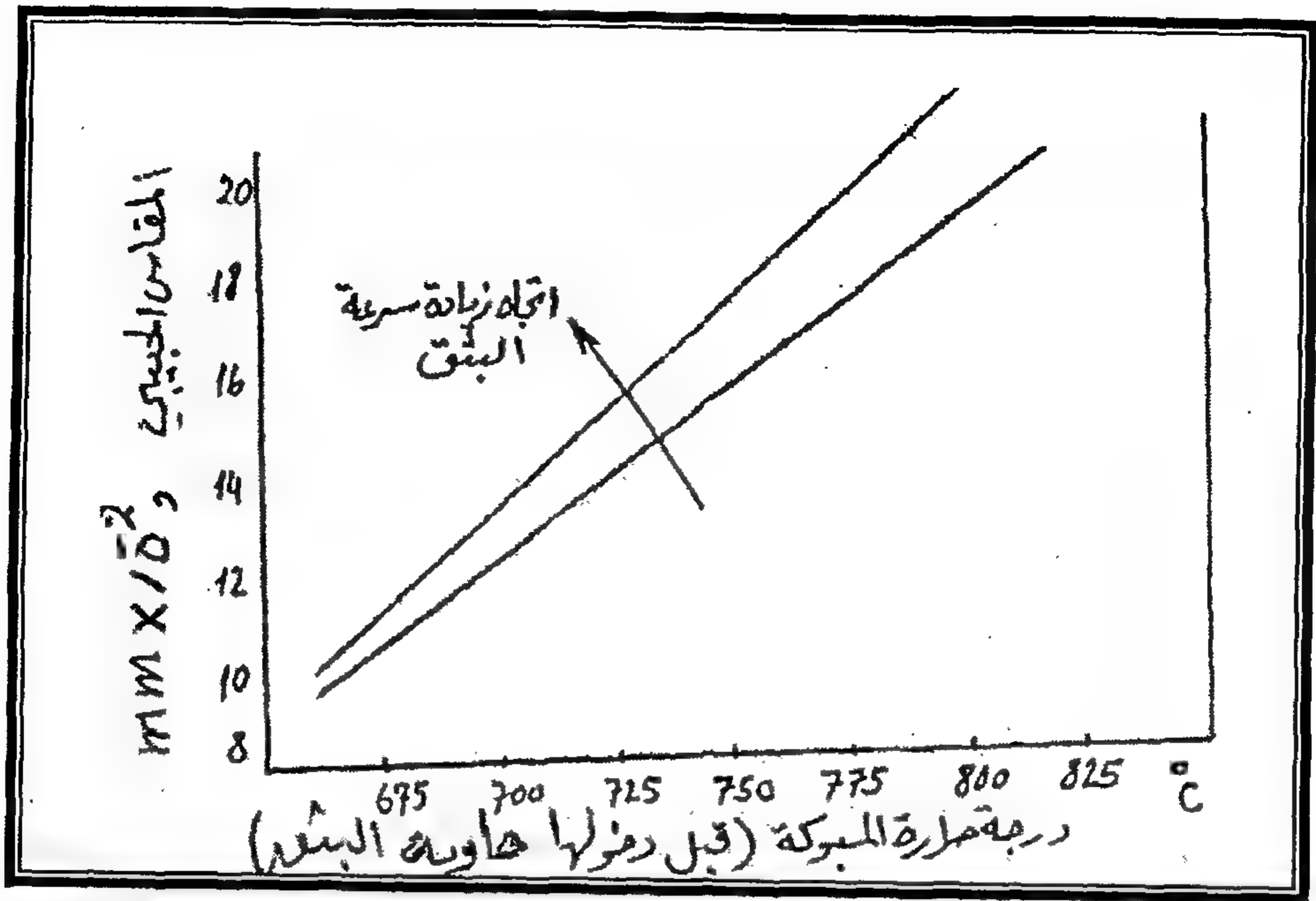
تأثير سرعة البثق على المقاس الحبيبي لقضبان براس (30 - 70).

### 3- درجة حرارة البثق (Extrusion Temperature)

يبين الشكل (10-4) العلاقة التجريبية بين درجة حرارة المعدن المبثوق والمقاس البلوري الناتج، حيث اخذت هذه النتائج من بعض التجارب التي اجريت على سبيكة البراس (30-70) ولسرعتي بثق مختلفتين.

### 4- 2- 3 حساب قوة البثق

تحتسب قوة البثق اما عمليا وذلك عن طريق القياسات او باعتماد المبدأ النظري والذي مضمونه ان الشغل (work) المنجز من قبل مكبس البثق يتحول الى الجهد المطلوب لتحويل المسبوكة الى منتج مبثوق وبمقطع معين اي بمقدار الشغل المنجز لتشكيل المسبوكة وجهد اخراج المعدن.



شكل (4-10)

تأثير درجة حرارة المعدن المبثوق على المقاس الحبيبي و علاقتها بسرعة البثق.

وقد تم اقتراح عدد كبير من المعادلات تلتقي جميعها بالعوامل الاساسية. وفيما ياتي احدى هذه المعادلات وهي معادلة سيبل (Siebel Equation)

$$A/a F = KA \log$$

حيث ان :

$F$  = القوة اللازمة للبثق

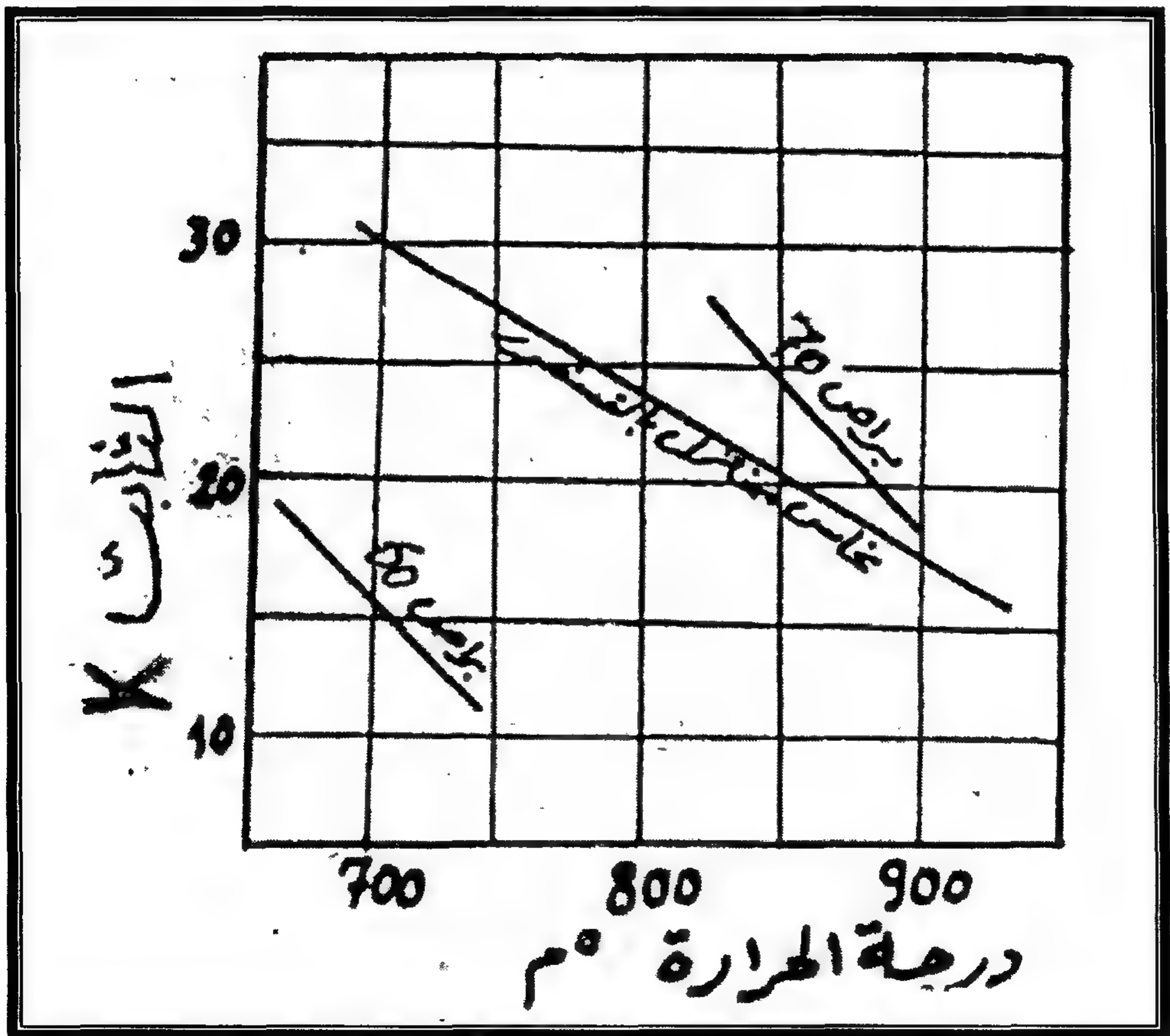
$K$  = ثابت

$A$  = مساحة مقطع الحاوية (Container)

$a$  = مساحة مقطع المنتج المبثوق



ويدخل ضمن الثابت (K) عدة عوامل مهمة جدا، مثل قوة الاحتكاك بين سطح الحاوية والمعدن المبثوق وبينه وبين سطح القالب وكذلك بين قرص البثق والحاوية ---- الخ. يبين الشكل (4-11) تأثير درجة حرارة المعدن المبثوق على قيم الثابت (K) ولثلاث انواع من سبائك النحاس. حيث يظهر انه كلما ازدادت درجة الحرارة كلما صغرت قيمة الثابت (K) وبالتالي نحتاج الى قوة بثق اقل. وهذا ما يلاحظ عمليا حيث تكون عملية البثق اسهل كلما رفعت درجة حرارة المسبوكة.



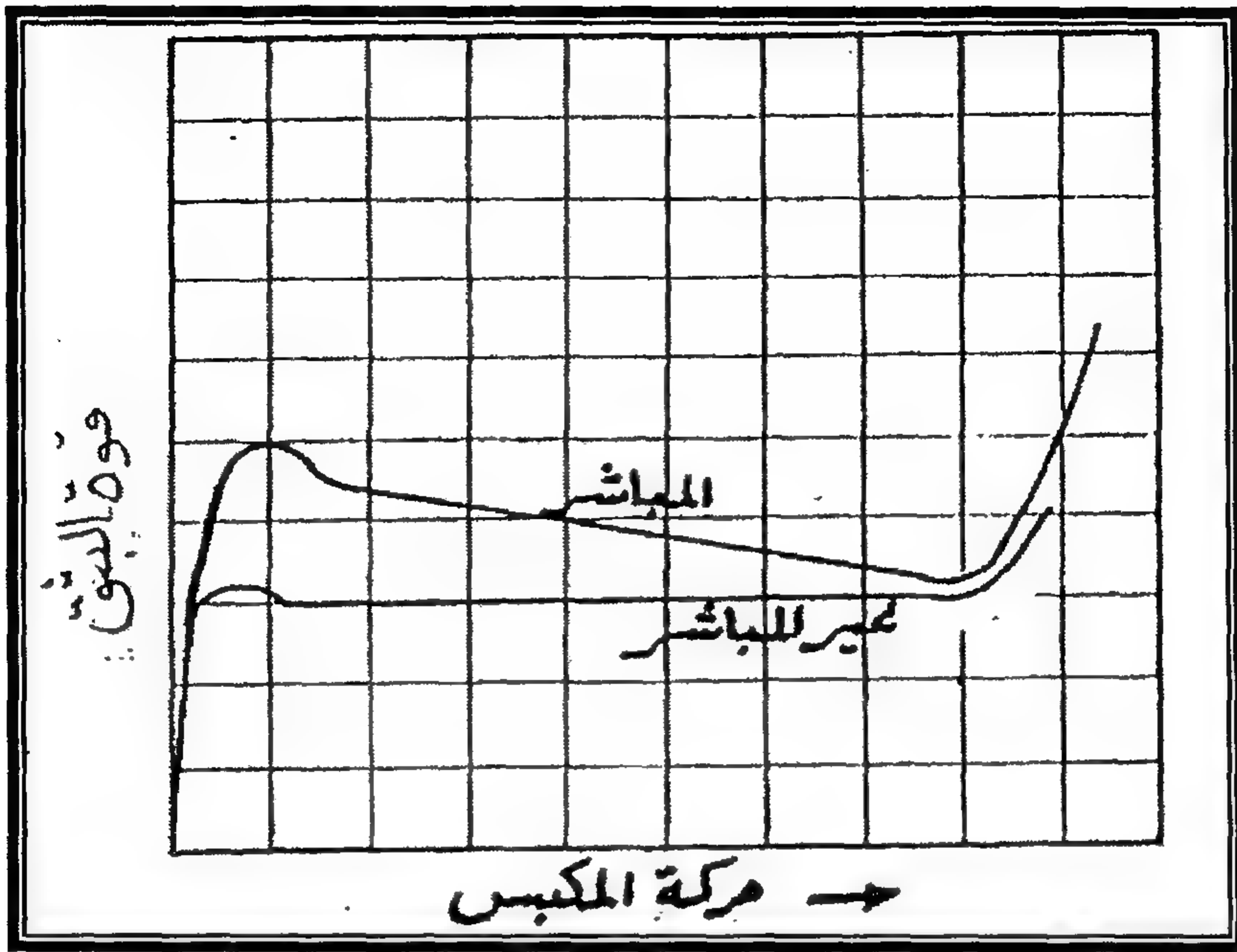
شكل (4 - 11)

علاقة درجة حرارة المعدن المبثوق مع قيمة الثابت (K).

وتتأثر القوة اللازمة للبثق من سبيكة الى اخرى وحسب التكوين الكيميائي لها وكما يتضح ذلك جليا من الشكل (4-11) انف الذكر حيث تختلف قيم الثابت (K) من سبيكة البراص (30-70) عما هي عليه في سبيكة البراص (40-60) وكذلك تختلف عن النحاس المختزل بالفسفور.

#### 4-2-4 المقارنة بين البثق المباشر وغير المباشر:

يلزم في عملية البثق المباشر قوة اكبر مقارنة مع القوة اللازمة للبثق غير المباشر بحيث تشكل الاخيرة ما نسبته 60-70% مما هي عليه في البثق المباشر. وهذا ناتج عن انعدام الاحتكاك بين المعدن وجدار الحاوية، كما ان طريقة انسياب المعدن في البثق غير المباشر اكثر سهولة مما هي عليه في البثق المباشر. يمثل الشكل (4-12) العلاقة بين قوة البثق اللازمة لكل من العمليتين وعلاقتها بسرعة حركة المكبس اثناء عملية البثق. تكون نوعية سطح المعدن المبثوق بالطريقة المباشرة افضل وذلك لكون منطقة التشكيل ضيقة، اضافة الى ان طول المسبوكات المستخدمة في البثق المباشر تكون اقصر. فعلى سبيل المثال، في المكبس (2500 ton) الخاص بالبثق المباشر تستخدم مسبوكات ذات ابعاد (205x900mm) في حين تستخدم في البثق غير المباشر مسبوكات ذات ابعاد (205x1200mm) وبنفس مقدار الطاقة المستهلكة. وتصل انتاجية (Yield) الاول 84 % فيما تكون للثاني 97%، وتعتبر عملية البثق غير المباشر مناسبة للبراص، اما النحاس فيصعب بثقة بهذه الطريقة لكون النحاس لين نسبيا ويلتصق على جدار (سطح) الحاوية ويحتاج الى تبريد بالماء بعد المكبس مباشرة حيث يصعب تحقيق ذلك في الطريقة غير المباشرة.



شكل (4 - 12)

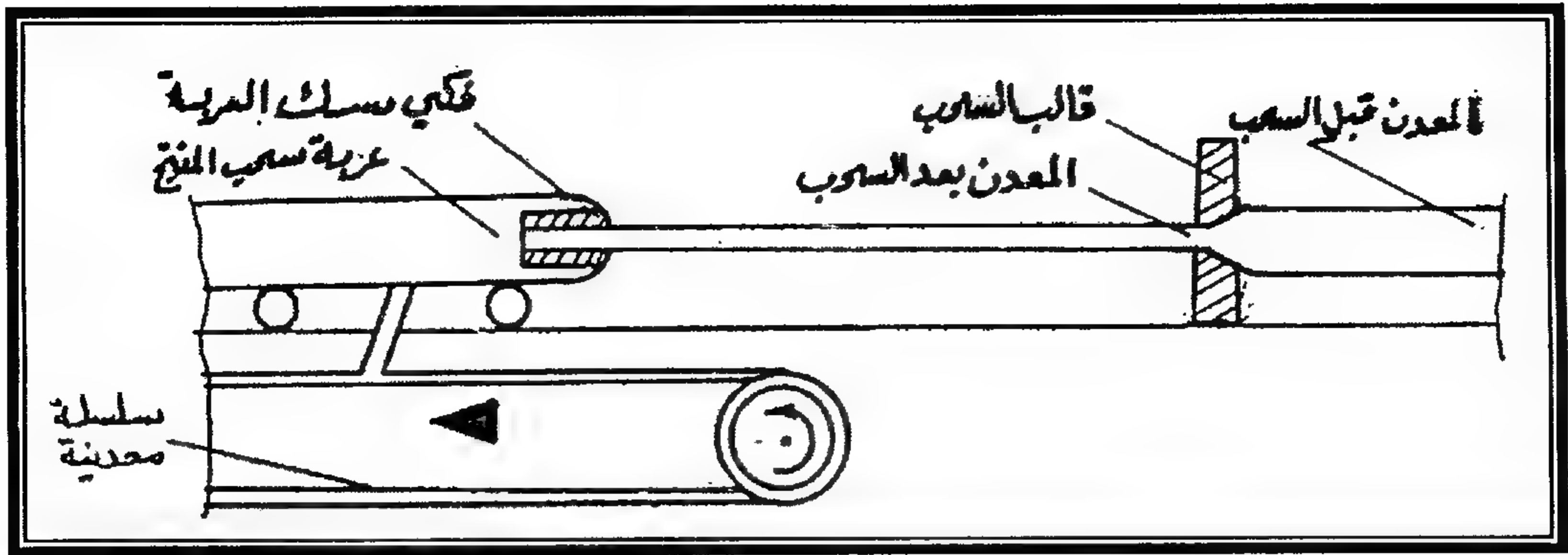
مقارنة بين قوة البثق ( المباشر و غير المباشر ) مع سرعة حركة المكبس.

#### 4- 3 السحب (Drawing)

وهي العملية التي يتم فيها تقليل مساحة المقطع العرضي للمعدن لحساب زيادة طوله، على اعتبار ان الحجم ثابت تقريبا، وذلك بسحبه من خلال قالب خاص عند درجة حرارة الغرفة. ولا بد من كون المعدن المراد سحبه ذو مطيلية عالية فهو اما ان يكون ميثوق او ملدن. وعند تعدد مرات السحب يجب تلدين المعدن بين السحبات مع الاخذ بعين الاعتبار مقدار الاختزال الممكن لكل معدن او سبيكة بين مرحلة تلدين واخرى. ويشترط ان يكون المعدن المراد سحبه خاليا من الاكاسيد والتي يمكن ازالتها بعملية الغسل الكيميائي (Pickling) التي تجرى في احواض من محلول حامض الكبريتيك (بتركيزه 15%) وعند درجة حرارة 80°C ثم تغسل السبيكة بعد ذلك في احواض من الماء

البارد ومن ثم في احواض من الماء الساخن. تستخدم عدد من السوائل لغرض التزيت اثناء عملية السحب والهدف من ذلك هو تبريد القالب وزيادة عمره والحصول على سطح صقيل للمعدن المسحوب وبابعاد ذات سماحات دقيقة وخواص ميتالورجية معينة. عند اعداد المسالك التكنولوجية لتصنيع القضبان السداسية المسطحة والدائرية وغيرها يتم بثق المنتج اولا بقياسات اكبر بقليل من القياس المطلوب ثم يسحب الى القياس المطلوب، بحيث ان ما يحدد هذا الاختلاف في المقطع هو الخواص النهائية المطلوبة للمعدن المسحوب، على سبيل المثال، الصلادة والمطيلية ومقاومة الشد والمقاس الحبيبي (البلوري) وغير ذلك وضمن حدود الامكانيات المتاحة في المصنع. تتم اجراء عملية السحب على مكائن السحب (Draw Bench) والتي تتكون بصورة رئيسة من الاجزاء المبينة في الشكل (4-13). تختلف مكائن السحب بعضها عن بعض بألية اعداد حركتها. فمنها ما يعمل بالمحركات الكهربائية ومنها ما يعتمد على الانظمة الهيدرولية. وبعد اجراء عملية غسل المعدن وتدبيب نهاياته ينقل الى ماكينة السحب حيث تجرى عملية السحب بادخال النهاية المدببة في القالب ومسكها من الجهة الثانية له، بفكوك عربة السحب. ثم يسحب المعدن من خلال القالب المثبت على الماكينة حتى وصول العربة الى نهاية شوطها عند الطرف البعيد عن القالب. ينفتح فكا الماسكة ويتحرر المعدن وحسب طول القضيب بعد البثق والقطر النهائي المطلوب، ثم تعود العربة الى وضع الابتداء للبدء بدورة اخرى لقطعة جديدة او لمقطع اخر اذا اريد تبديل القالب.



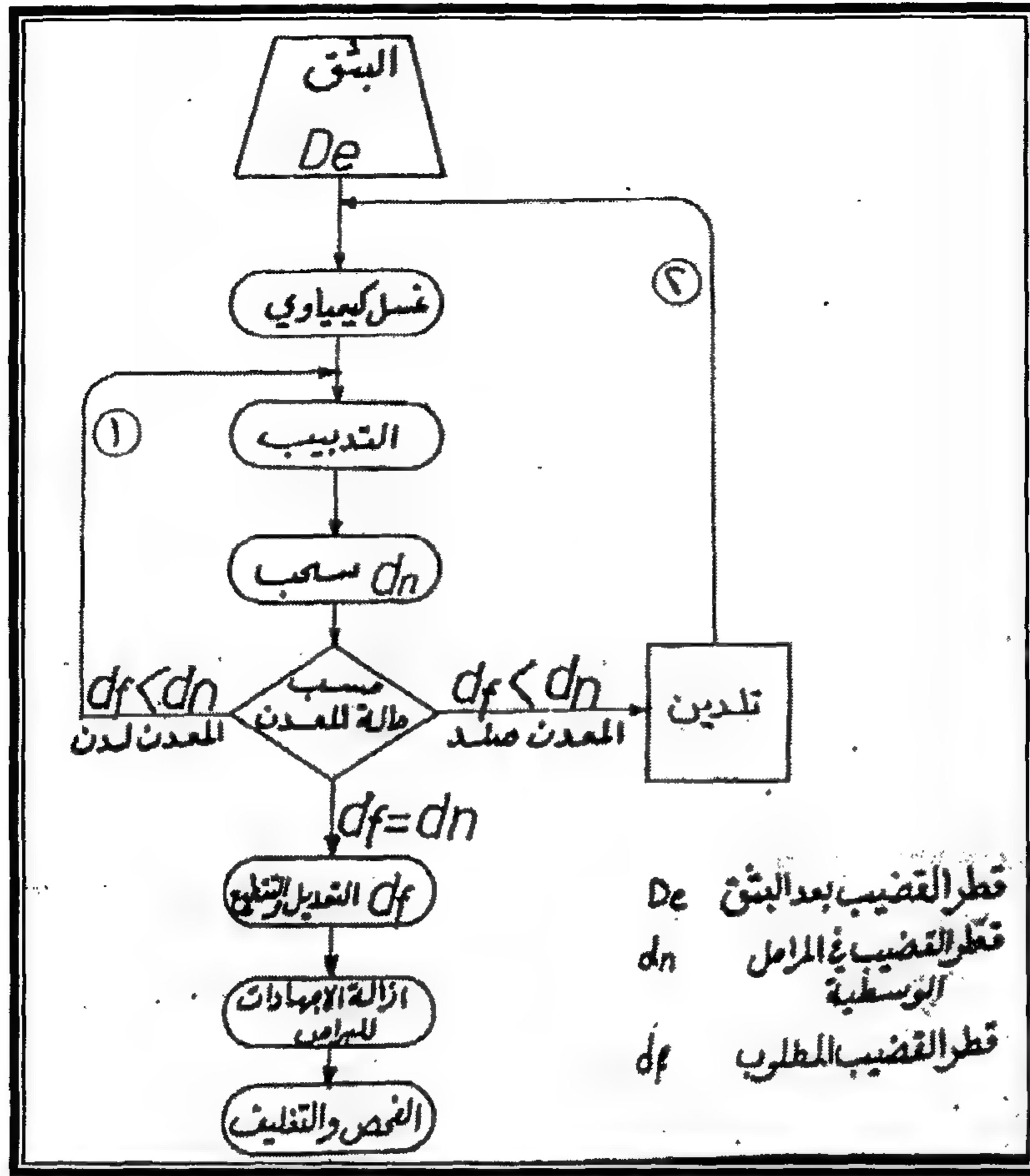


شكل (4 - 13)

مخطط يوضح فكرة سحب القضبان و المقاطع.

يبين الجدول (2-5) انف الذكر، اكبر نسبة ممكنة للتشكيل على البارد والتي من خلالها يمكن تحديد مقدار الاختزال في المقطع بين عمليات التلدين، فعلى سبيل المثال، تبلغ نسبة التشكيل العظمى الممكنة للنحاس 90% وللبراص الفسا (30-70) حوالي 75% وهكذا في حين ان الخبرة العملية تستدعي استخدام نسبة تشكيل لا تزيد على 45% بالنسبة لقضبان واسلاك النحاس والبراص ولا تزيد على 40% بالنسبة للانايب المصنعة منهما في المرحلة الواحدة. وتعتمد نسبة التشكيل في المرحلة الواحدة على حالة المعدن الميتالورجية قبل السحب أيضا. و يتم تحديد مقدار التشكيل في اية مرحلة على اساس الخواص الميكانيكية المطلوبة وذلك بالاعتماد على منحنيات العلاقة بين نسبة التشكيل والخواص الموجودة في ملاحق نهاية الكتاب. يبين الشكل (4-14) مخططا لسلسلة العمليات التي يمر بها النحاس وسبائكه اثناء عملية التصنيع ابتداء من البثق ثم السحب و اسلوبه، وهي تخص تصنيع القضبان وهو ينطبق كذلك على المقاطع الاخرى المشكلة اضافة الى الانايب.





شكل (4 - 14)

سلسلة العمليات التصنيعية للقضبان من النحاس وسبائكه.

#### 4- 3- 1 تصنيع واستخدام انابيب النحاس وسبائكه

تتم عملية انتاج الانابيب من النحاس وسبائكه بطرائق مختلفة وكما ياتي:

- 1- السباكة بالطرد المركزي ثم تشغيل سطح المسبوكة بالخراطة او اجراء عمليات السحب.
- 2- بثق الانابيب ثم اجراء عملية السحب والدرفلة.

3- تصنيع صفائح بعملية الدرفلة ثم ثنيها ولحامها ومن ثم سحبها وحسب الحاجة والغرض.

اما اكثر هذه الطرائق انتشارا في الصناعة فهي انتاجها بوساطة البثق ثم اجراء عمليات السحب عليها. تتم هذه العملية بتسخين المسبوكات ذات المقطع الدائري (Billets) في افران خاصة، سواء كانت افران غازية او كهربائية اوحثية، ويمدى درجات حرارة يتراوح بين  $600^{\circ}\text{C}$  و  $1050^{\circ}\text{C}$  وحسب التكوين الكيميائي للمعدن المبثوق، كما ورد سابقا. اما القوة اللازمة للبثق فتزداد كلما قلت درجة حرارة المعدن المراد بثقه وذلك لأن الطاقة اللازمة لتطويعه (دفعه خلال القالب) تزداد كلما انخفضت درجة الحرارة.

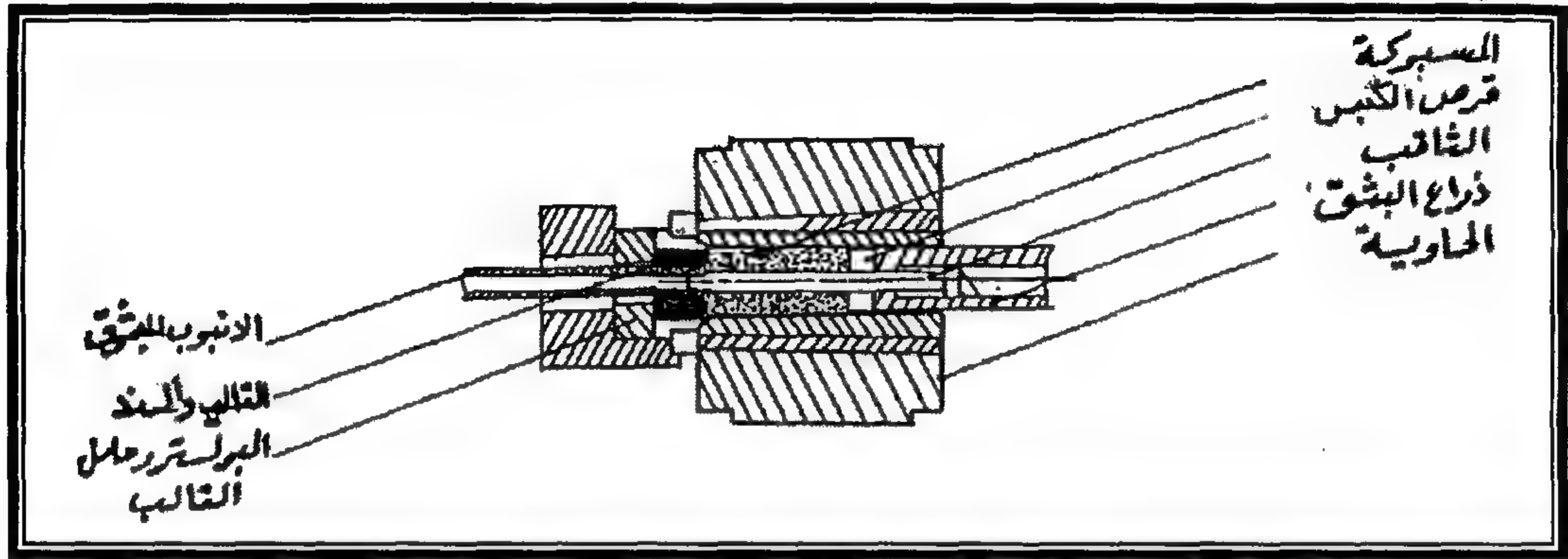
يمكن اجراء عملية البثق باستخدام مكابس عمودية (Vertical press) او افقية مجهزة بمكبس خاص لثقب السبيكة (Piercer). وهناك مكابس يتم فيها بثق مسبوكات مثقوبة. ويمكن ان تستخدم لهذا الغرض مكابس البثق المباشر وغير المباشر. ومن مزايا المكابس العمودية هي امكانية الحصول على سمك منتظم وذلك لسهولة ضبط تركز القالب والثاقب اكثر مما هو عليه في المكابس الافقية.

ولكن الذي يحد من استخدامها هو ان الطول المبثوق محدد بالمجال الممكن بين القالب ومستوى الارضية، فكلما زادت المسافة تحت الارض كلما زادت التكاليف حيث تصبح الصيانة اكثر صعوبة. اما في المكابس الافقية فيحدد طول الانبوب المبثوق بطاقة المكبس والمجال الافقي المتوفر حيث تحدد طاقة المكبس طول المسبوكة وخصوصا فيما يخص امكانية ثقب المسبوكة. ويكمن مصدر الصعوبة في انتاج الانابيب في عدم سهولة الحصول على سمك منتظم لجدار الانبوب وذلك لصعوبة تركز القالب مع الثاقب (Mandrel) والتي بدورها قد تنتج عن صعوبة تطابق محاور المكبس خصوصا في المكابس المستخدمة لفترة طويلة نسبيا.

يتم تبريد الانابيب النحاسية بعد خروجها من القالب بتيار غاز خامل او بالهواء او بالماء بحيث يمر الانبوب المبثوق ومباشرة بعد خروجه من القالب في حوض ماء او في

نفق يحتوي على غاز خامل لمنع توليد طبقة من الاوكسيد على سطح المنتج المبثوق وخاصة بالنسبة للنحاس النقي اما الانابيب البراص فتبرد بالهواء.

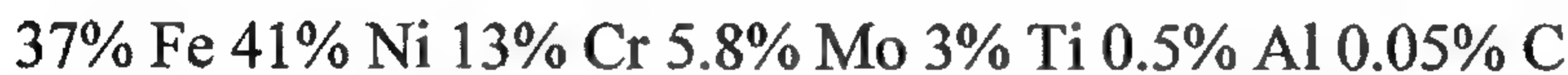
يبين الرسم التخطيطي في الشكل (4-15) فكرة عملية البثق للانابيب والعدد المستخدمة. تستخدم عدد خاصة للبثق الساخن لانابيب النحاس وسبائكه وهذه العدد هي:



الشكل (4-15)

اسلوب بثق الانابيب والعدد المستخدمة له.

1- الحاوية (Container) وتتكون من بطانة (Liner) داخلية مركبة من بطانات متعددة لزيادة مقاومتها. هذه البطانات مصنعة من الفولاذ الخاص بالتشكيل على الحار (Hot work steel)، على سبيل المثال، الفولاذ:



2- قلب التشكيل (Mandrel) وهو اما ان يكون على شكل قضيب صلد ذو نهاية شبه كروية ويبرد من الخارج او ان يكون مجوف ويتم تبريده من الداخل بنظام خاص. اما معدل عمره فيختلف حسب المعدن المبثوق ويصنع عادة من الفولاذ ايضا، على سبيل المثال، الفولاذ:



3- القالب (Die) وحامل القالب (Die holder) وتصنع من الفولاذ فعلى سبيل المثال، يصنع القالب من الفولاذ:

6.5% W 5% Co 2.25% Cr 0.7% Mo 0.3% C 85.25% Fe

اما حامل القالب فمن الفولاذ :

92.08% Fe 5% Cr 1.1% Si 1.1% V 0.37% C 0.35% Mo

4- 3- 2 عمليات السحب البارد للأنابيب (Cold Drawing of tubes)

يتم اعداد الانبوب بالثق بقياسات اقرب ما يمكن الى قياسات الانبوب النهائية المطلوبة مع الاخذ بنظر الاعتبار الخواص الميكانيكية للانبوب بحالته النهائية وذلك من اجل اجراء اقل عدد ممكن من عمليات السحب. وقبل ايضاح تكنولوجيا انتاج الانابيب النحاسية لابد من تبين انواع وطرائق السحب حسب نوع الماكينة وتركيبها وهي:

1- ماكينة السحب التي تعتمد في حركة فكوك مسك المنتج على سلسلة سحب خاصة (Chain draw bench).

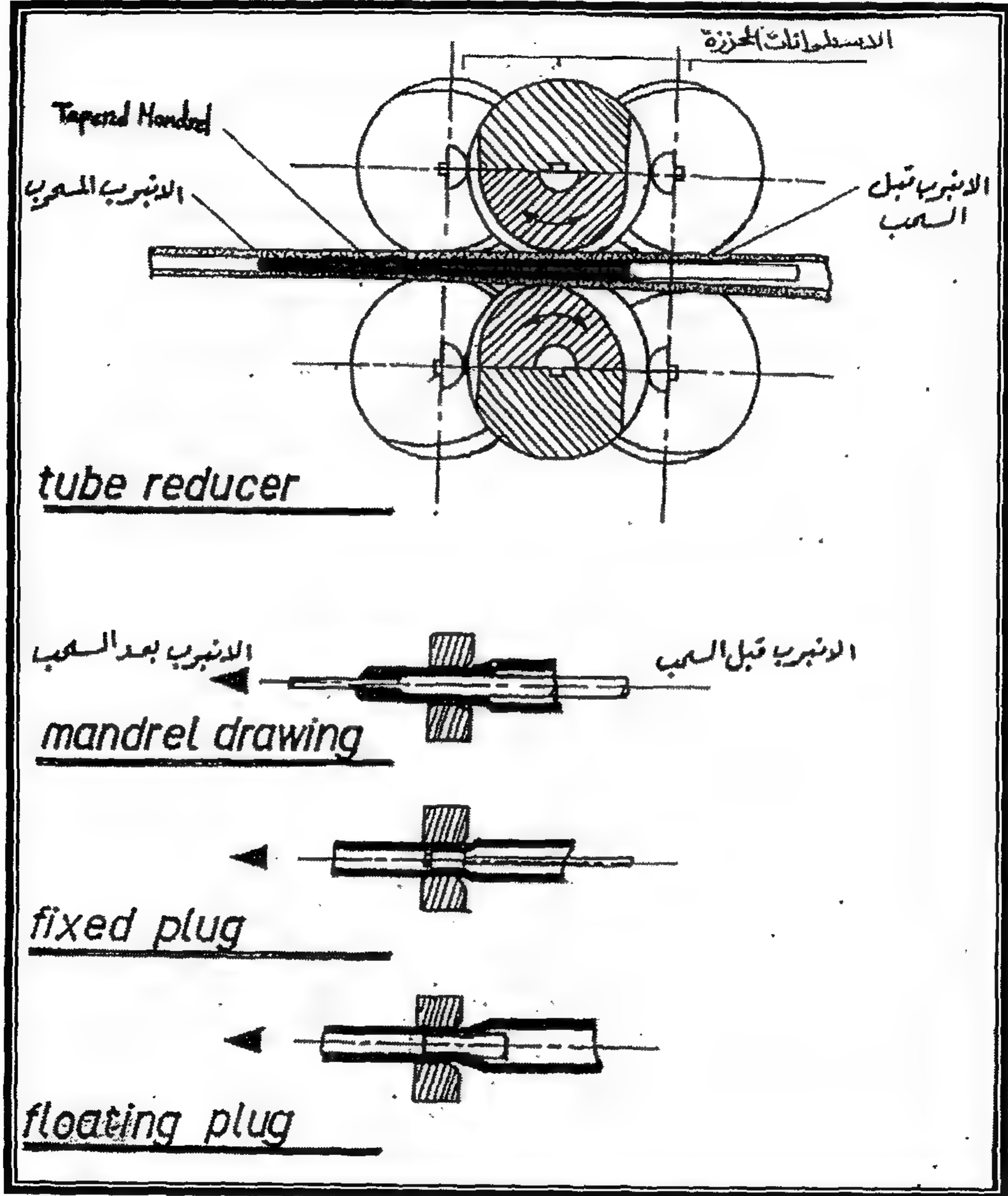
2- وعندما يكون اسلوب السحب هيدرولي تسمى عندئذ ماكينة السحب الهيدرولية (Hydrolic Draw Bench).

3- ماكينة سحب (Pull Block) ويمكن القول ان هذه الطريقة هي اخص الطرائق المستخدمة في سحب الانابيب النحاسية كما وتستخدم ايضا في سحب انابيب البراص. وفي هذا النوع تستخدم السدادة العائمة (Floating Plug) حيث يتم فيها تكرار عملية السحب للانبوب، ابتداء من القطر بعد الثق، وذلك بتقليل المقطع الى ان يتم الحصول على القياسات المطلوبة.

4- ماكينة سحب الانابيب بالدرفلة (Tube Reducer) حيث يتم وضع الانبوب المراد سحبه بين اسطوانات درفلة ذات اخدود (Grooved Roller) ونتيجة لحركتها التذبذبية بسبب اختلاف مقطعيها ووجود قضيب مسلوب داخل الانبوب (Tapper Mandrel) يتم اختزال المقطع مع زيادة الطول ولكن هذه العملية مكلفة ولذلك فان استخدامها محدود.



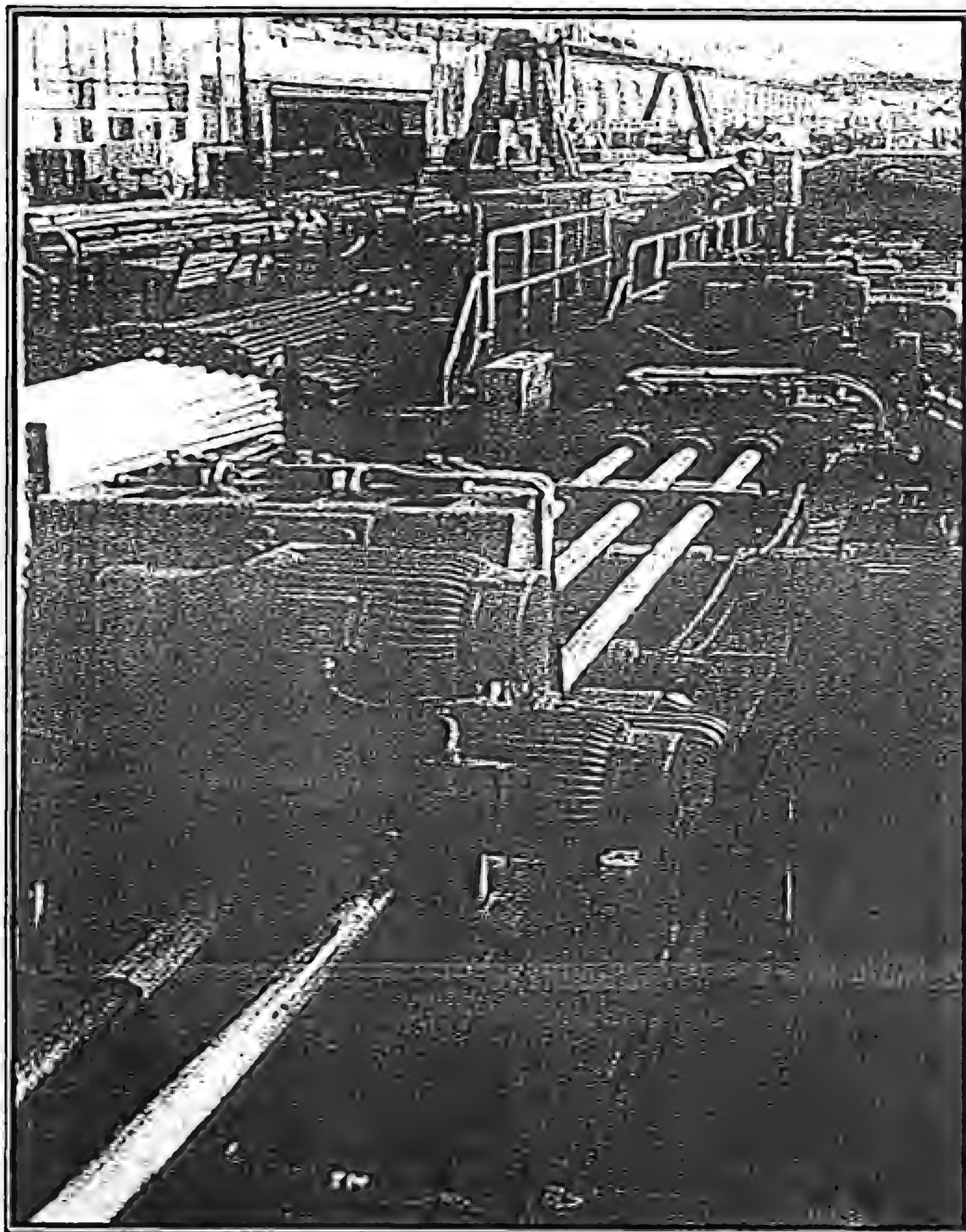
يمكن ايضاح انواع عمليات السحب من خلال مخططات السحب كما في الاشكال (16-4) و (17-4) و (18-4).



شكل (4 - 16)

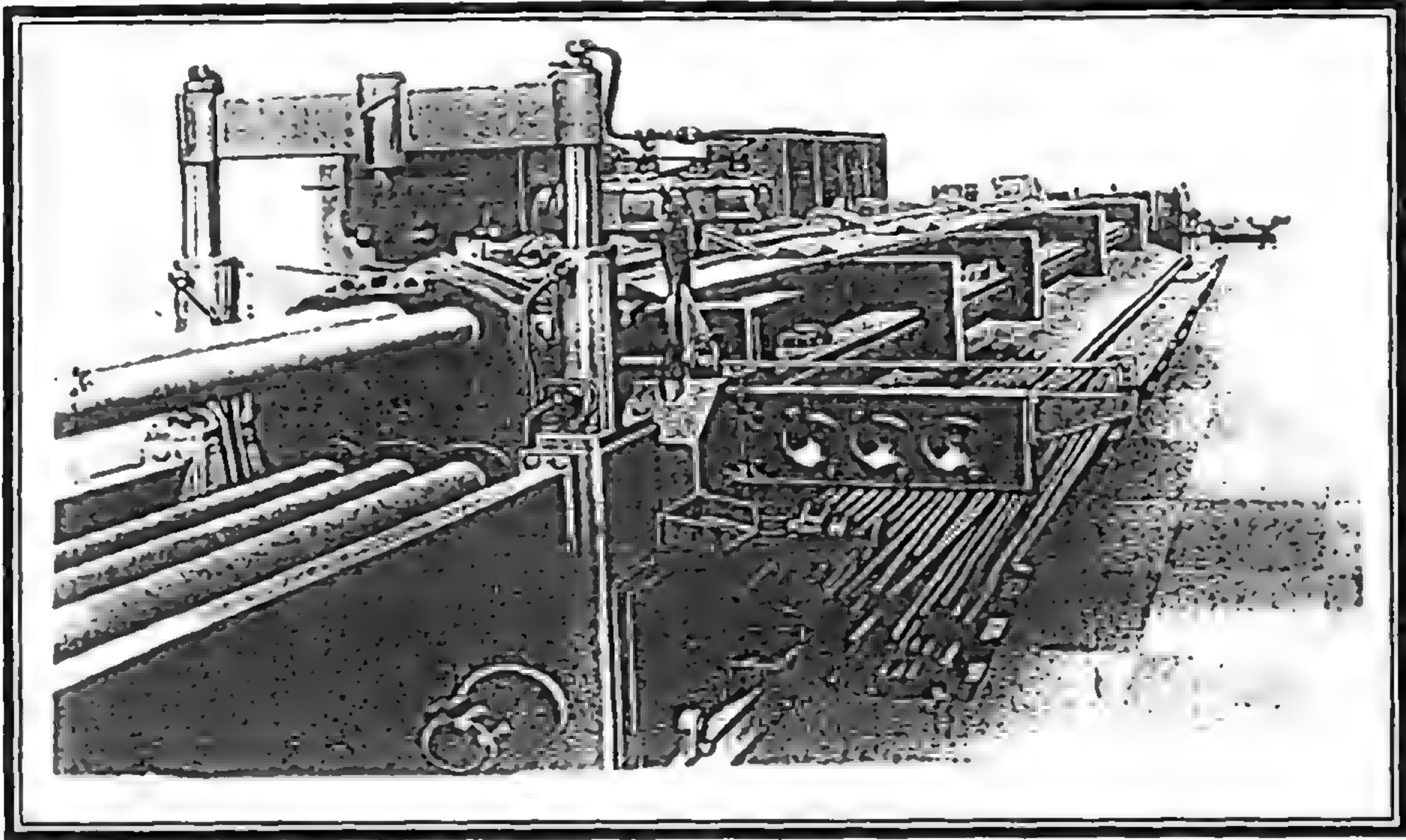
انواع عمليات السحب.



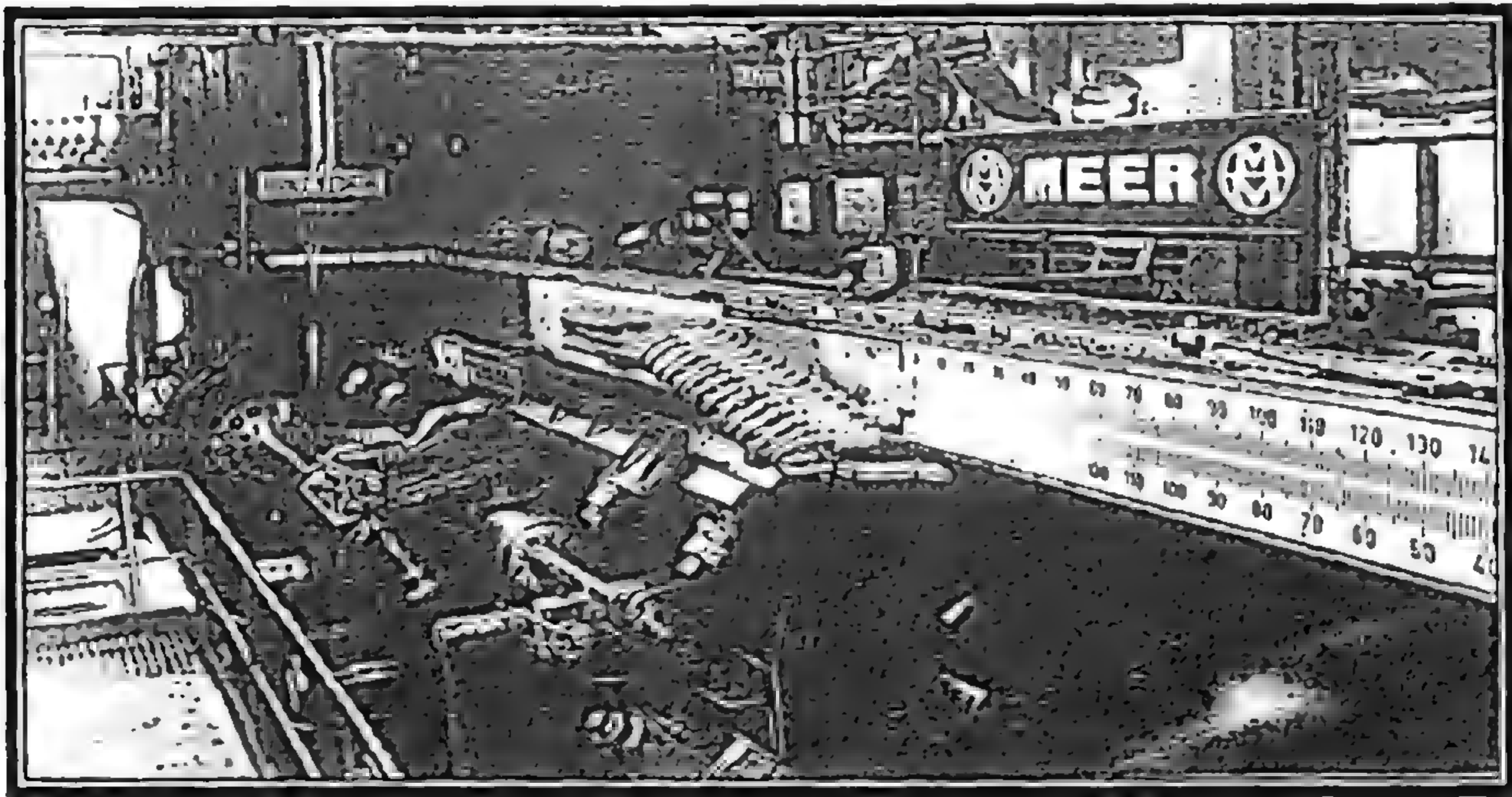


شكل ( 4 - 17 )

ماكينة درفلة انابيب النحاس و سبائكه.



شكل ( 4 - 18 )  
صورة لماكنة سحب أنابيب ثلاثية



شكل ( 4 - 18 ب )  
صورة لمكبس بثق هيدروليكي.

## 4- 3- 3 تكنولوجيا سحب الانابيب

(Tubes Drawing Technology)

تعتبر عملية السحب عملية تشكيل على البارد وتهدف الى تحقيق قياسات دقيقة ضمن المواصفات المحددة للغرض المنتج من اجله. وتتضمن هذه المواصفات الابعاد اضافة الى الخواص الميكانيكية حيث يعتبر المعدن المبثوق في حالة لينة (Soft)، وهو وان كان قد يصلح لبعض الاستخدامات الا ان الدقة في تحقيق السماحات المطلوبة يمكن الحصول عليها باجراء عملية السحب ثم تلدين المنتج المسحوب لاعادته الى حالة اللينة، ان تطلب الامر ذلك، وعندئذ يمكن تحقيق السماحات والخواص المطلوبة. وبنفس الطريقة تتم معالجة الحالات التي تكون فيها خواص المنتج المطلوبة في حالته الصلدة (Hard) او نصف الصلدة (Half hard) حيث تحدد نسبة التشكيل (عند السحب) اللازمة بعد اخر عملية تلدين من خلال المنحنيات التي تحدد العلاقة بين الخواص الميكانيكية المطلوبة ونسبة الاختزال في المقطع (Reduction) حيث ان كل سبيكة نحاسية لها منحنياتها الخاصة.

كما يمكن حساب نسبة الاختزال في المقطع من المعادلة الآتية

$$R = (A - a / A) \times 100 \quad \text{----- (1)}$$

حيث ان  $a$  = مساحة المقطع بعد السحب و  $A$  = مساحة المقطع قبل السحب.

ويمكن اعتبار نسبة الاستطالة ( $\lambda$ ) مكونة من جزئين الاول يتعلق بمعدل القطرين الداخلي والخارجي ( $\lambda_d$ ) والثاني يتعلق بسمك الانبوب ( $\lambda_t$ ).

$$\lambda = \lambda_d \cdot \lambda_t$$

$$\lambda_d = (D_1 - t_1) / (D_2 - t_2) \quad \& \quad \lambda_t = t_1 / t_2 \quad \text{..... (2)}$$

$$\lambda = (D_1 - t_1) t_1 / (D_2 - t_2) t_2 \quad \text{... .. (3)}$$

حيث ان

$$D_1 = \text{قطر الانبوب قبل السحب}$$



$D_2$  = قطر الانبوب بعد السحب

$t_1$  = سمك الانبوب قبل السحب

$t_2$  = سمك الانبوب بعد السحب

فعلى سبيل المثال اذا اريد حساب عدد السحب (Number of Passes) والمراحل  
واذا كان الانبوب المطلوب ملدن ومن النحاس النقي وذو قطر خارجي 19mm  
وداخلية 15 mm و من ثم له سمك مقداره 2 mm. لقد وجد عمليا انه بالنسبة للنحاس  
الملدن تكون

$$\lambda_d = 1.25 \text{ \& } \lambda_t = 1.2$$

ومن خلال هذه القيم وباستخدام المعادلتين المذكورتين في (2) يمكن حساب  
القطرين الخارجي والداخلي للانبوب خلال مراحل السحب وابتداءً من الابعاد النهائية  
المطلوبة (19\*15mm) وكما في الجدول ادناه :

المرحلة	القطر الداخلي والخارجي	السمك
البثق	37x30mm	3.5mm
السحبة الاولى	29.7x24mm	2.9mm
السحبة الثانية	23.9x19mm	2.4mm
السحبة الثالثة	19x15mm	2mm

ومن خلال القراءات في الجدول اعلاه فان الانبوب يجب ان يشق بحدود 37mm  
قطر خارجي وسمك 3 mm 5. (اي بقطر داخلي 30mm). وتجري له عمليات السحب  
ويلدن بعد اخر مرحلة وكالاتي:

مراحل التصنيع	$\lambda_d$	$\lambda_t$	السلك mm	القطر الداخلي mm	القطر الخارجي mm
الاولى بثق	1.25	1.2	3.5	29.8	36.90
الثانية سحب	1.25	1.2	3.00	23.7	29.69
الثالثة سحب	1.25	1.2	2.5	18.89	23.89
الرابعة سحب	1.25	1.2	2.00	15.00	19.00

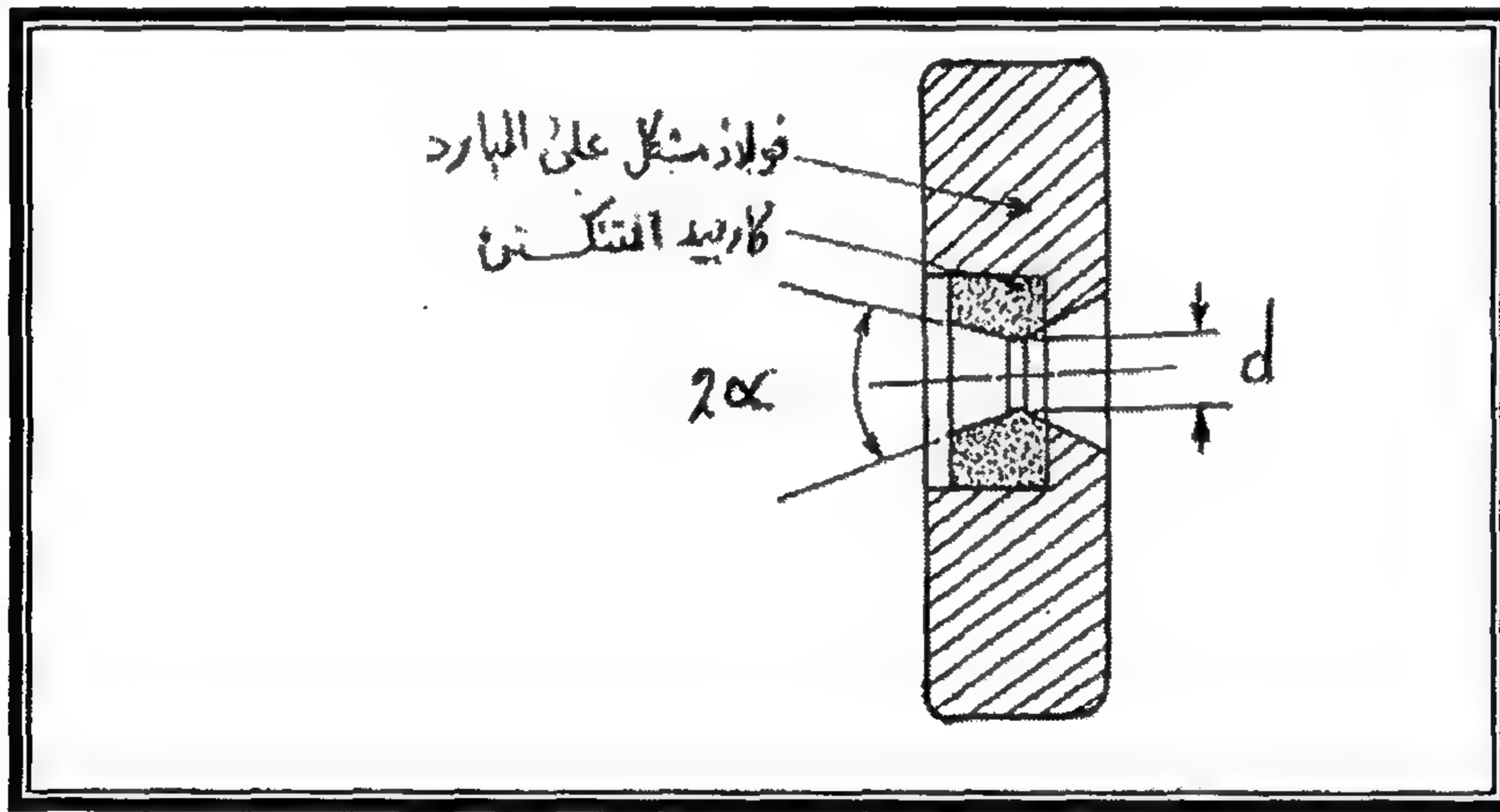
ومن الامور التي يجب الانتباه اليها عند اعداد المسلك التكنولوجي للانابيب وغيرها من المنتجات التي تنتج بهذه الطريقة هو اختصار المسلك الى اقصر مسار ممكن، ويحدد ذلك طاقة مكبس البثق واصغر مقطع يمكن بثقه وبقياسات مقبولة. كما يؤثر على ذلك ايضا نوع السبيكة ومدى تحملها لعمليات التشكيل البارد بدون تلدين اضافة الى نسبة الاختزال الممكنة بين كل عمليتي تلدين وما يتعلق بامور اخرى تختلف من مصنع الى اخر و حسب الامكانيات والمعدات المتوفرة.

اما في سبائك النحاس، على سبيل المثال البراص، فتتم الحسابات بنفس الاسلوب مع الاخذ بنظر الاعتبار نسبة التشكيل الممكنة لكل سبيكة واجراء التلدين الوسطي لاعادة المعدن الى لدونته ومن ثم الاستمرار باختزال المقطع لحين الوصول الى القياس المطلوب على ان تحدد نسبة التشكيل في آخر مرحلة وفقا للخواص الميكانيكية المطلوبة مع اجراء عملية ازالة الاجهادات وذلك لمنع حصول التشقق بسببها، كما سيرد ذلك فيما بعد.



#### 4-3-4 عدد وقوالب السحب (Drawing Tools and Dies)

تصنع عدد وقوالب السحب في الغالب حسب مواصفات خاصة ومحددة من خلال خبرة الشركات العالمية في هذا المضمار. فعلى سبيل المثال، تصنع قوالب السحب من الفولاذ مع كون الجزء الفعال منها مصنوع من كاربيد التنكستن (Tungsten carbides) والتي تمتاز بكونها اقتصادية من حيث عمرها العملي وجودة سطح المنتج المسحوب اما عمر هذه القوالب فيعتمد على نوع المعدن المسحوب وطريقة التزيت وكمية الزيت وكفاءة عملية صيانة القوالب اثناء ضبط الابعاد. ويبين الشكل (4-19) مخطط لشكل واجزاء قالب السحب.



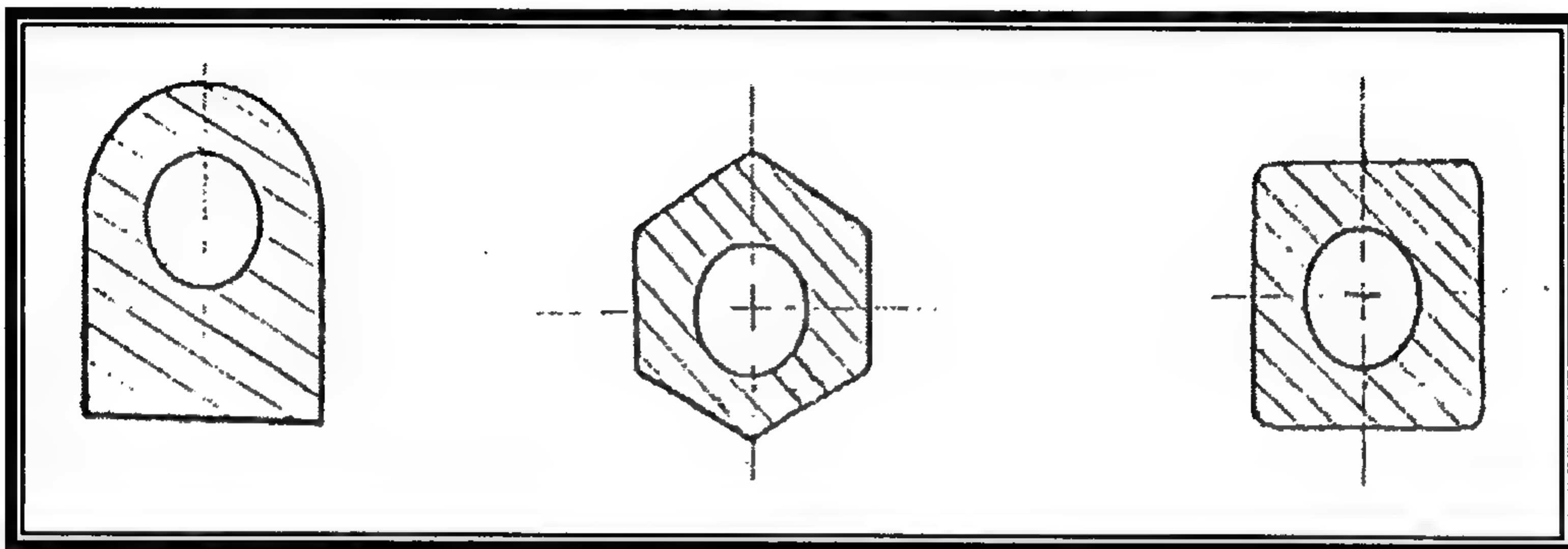
شكل (4 - 19)

مخطط لقالب السحب.

#### 4-3-5 انواع الانابيب (Types of Tubes)

1- الانابيب الصغيرة (Small-bore Tubes) تستخدم السدادة العائمة (Floating Plug) في عمليات سحب المقاسات الصغيرة من الانابيب وبقالب مخروطي المدخل (Conical Die) حيث يمكن الوصول الى أقطار داخلية صغيرة (اصغر من 1 mm) وذلك باستخدام مكائن سحب صغيرة (Small pull block).

2- الانابيب المشكلة (Shaped Tubes) هناك عدد من الانابيب المشكلة منها ما هو متناظر ومتمركز ومنها ما يمتاز بعدم انتظام سمكة والتي يمكن ان تنتج باستخدام مكابس البثق ثم تجرى عليها عمليات السحب لضبط الابعاد والخواص ويبين الشكل (4-20) امثلة لبعض هذه المقاطع.



شكل (4 - 20)

مقاطع مختلفة لأنابيب مشكلة بالسحب.

3- انابيب ثنائية المعدن (Bi-metal Tubes) يصنع هذا النوع من الانابيب لاستخدامات خاصة كالحصول على مقاومة تاكل عالية خصوصا عند تعذر الحصول على معدن واحد يفي بهذه المتطلبات في محيط مُعادي والذي يستخدم (يغمر) الانبوب فيه او الوسط السائل الذي ينقل في الانبوب، كأن يكون السطح الخارجي من الفولاذ والداخلي من براض - المنيوم اوكون الاول من سبيكة النحاس - نيكل والثاني من الفولاذ الى اخره. حيث يتم سحب الانبوبين في ان واحد بعد ادخال احدهما في الثاني وتحت ظروف خاصة فينتج عن ذلك انبوب من طبقتين بينهما ربط فيزيائي. ويوفر ذلك اداءً جيداً فيما يخص الانتقال الحراري اضافة الى مقاومة التاكل الجيدة في الخارج والداخل عند اختلاف الوسطين.

4- الانابيب الاخرى ذات القياسات المختلفة وهذه المجموعة تنتج حسب نوع الانبوب ومقاسه وتستخدم لذلك احدى التقنيات الملائمة المبينة في الشكل (4-16) وخاصة السدادة الثابتة (Fixed plug).

#### 4-4 عمليات الانهاء (التشطيب) (Finishing Operations)

لا يعتبر اتمام عملية السحب والحصول على انبوب ضمن القياسات المطلوبة كافيا لتحقيق كافة المواصفات المتوخاة في الانابيب بل يتطلب ذلك بعض العمليات الإنهاء المطلوبة وكالاتي:

#### 4-4-1 التقويم (التعديل) (Straightening)

وتتم هذه العملية بطريقتين هما:

أ- يتم في الاولى تحقيق الاستقامة وذلك بادخال الانبوب بين مجموعتين من الاسطوانات ذات الاخدود والموضوعة في مستويين افقيين. وللتحقق من مدى دقة الاستقامة يستخدم مجس حساس يعتمد على مبدأ التيارات الدوامية (Eddy currents) في ذلك. حيث تحدد مدى دقة العملية واعادة ضبط الاسطوانات لحين تحقيق الاستقامة وضمن السماحات المطلوبة، وفي حالات اخرى حيث لا يوجد مثل هذا المجس فيكتفى بالاعتماد على الفحص البصري.

ب- ماكينة تقويم مكونة من اسطوانات افقية ذات اخدود. حيث يدور الانبوب بصورة عرضية على هذه الاسطوانات. ولعملية التقويم هذه ميزة ايجابية هي ازالة الاجهادات كمطلب اضافي مع الحصول على الاستقامة. يتم تحديد دقة استقامة الانبوب المطلوب حسب الغرض من الاستخدام. فعلى سبيل المثال، فان الانابيب المستخدمة في المبادلات الحرارية تتطلب دقة في الاستقامة تصل الى 0.4mm في المتر الواحد.

#### 4-4 2 التقطيع الى الاطوال المقررة

تتم هذه العملية باستخدام منشار قطع دائري مصنوع من الفولاذ الصلب او الكاربيد وحسب نوع سبيكة الانبوب المراد قطعه. اما الدقة في الطول فقد تصل الى 0.5mm لكل 10 m من طول الانبوب كما هو الحال في انابيب المكثفات (Condensers).

#### 4-4 3 المعاملات الحرارية الاخيرة

وهذه العملية تجرى على الانابيب قبل التغليف وحسب الغرض من تصنيعها. فقد تجرى عليها عملية ازالة الاجهادات (Stress relieving) مع المحافظة على مقاومتها لتحمل ظروف العمل المصممة من اجله، او ان تجرى عليها عملية تلدين للحصول على انابيب لينة (Soft) قابلة للثني مع المحافظة على مواصفاتها المطلوبة.

#### 4-5 استخدامات انابيب النحاس وسبائكه :

نتيجة للخواص الاساسية التي يتمتع بها النحاس وسبائكه والمبينة في الفصول السابقة، فقد امتاز النحاس و سبائكه بمدى واسع من الاستخدامات الصناعية فهو ذو مقاومة جيدة للتآكل في اوساط مختلفة، وله قابلية عالية للتوصيل الحراري والكهربائي اضافة الى قابليته العالية على التشكيل الحار او البارد والتي تجعل من الممكن الحصول على مدى واسع من الاشكال المتنوعة بوساطة عمليات التشكيل المختلفة، وفيما ياتي بعض استخدامات الانابيب النحاسية:

#### 4-5 1 انابيب نقل الماء

استخدمت انابيب النحاس قبل عدة عقود في نقل وتوزيع الماء داخل المباني السكنية والخدمية، وفي فترة ساد استخدامها في الولايات المتحدة وبريطانيا والدول الاوربية واليابان، ولم تؤشر إلا حالات محدودة من التآكل بالمقارنة مع حجم الانابيب المستخدم.

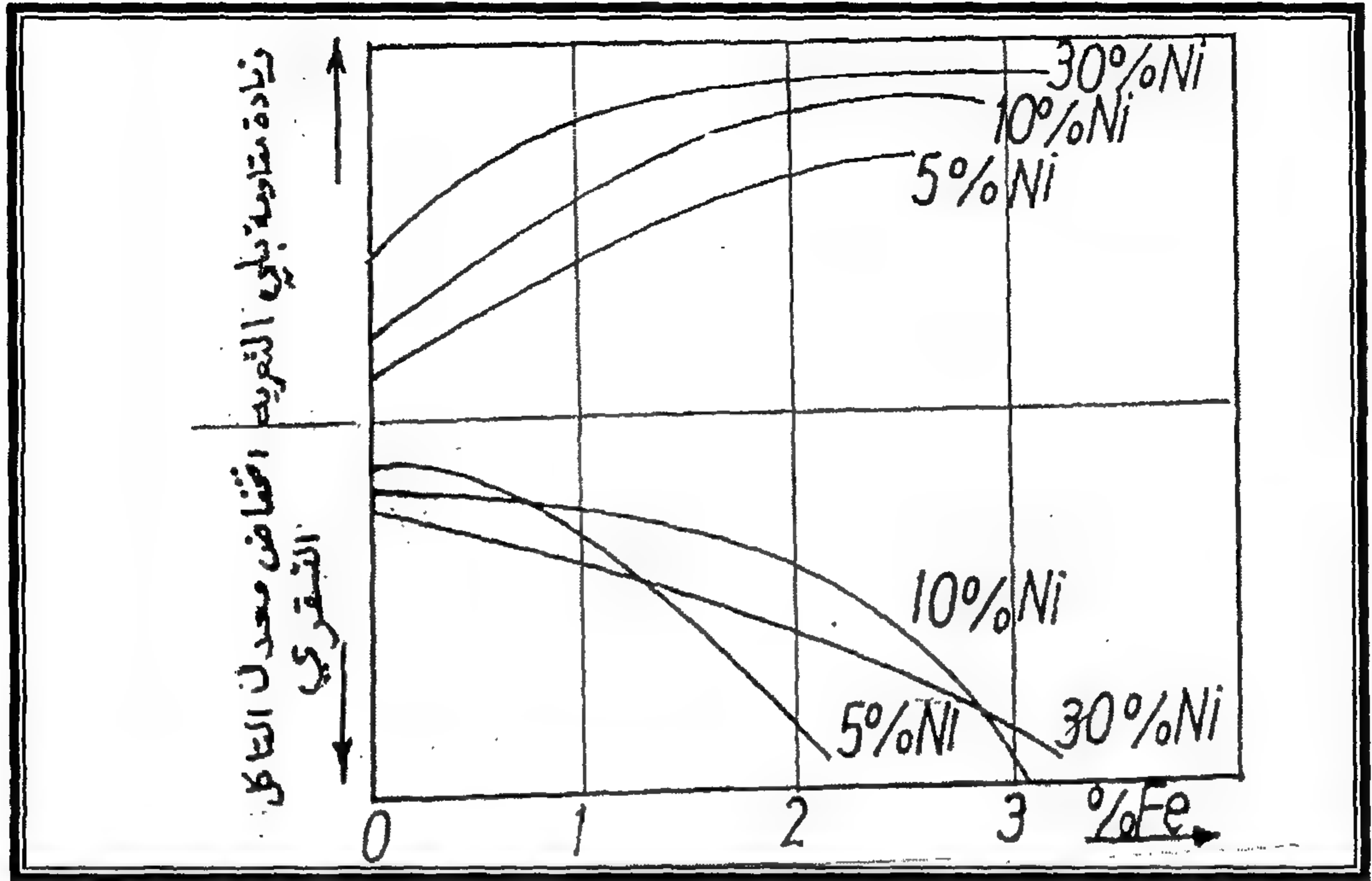


اما اهم المشاكل التي ظهرت في الانابيب النحاسية المستخدمة فهي ظاهرة التنقر (Pitting) في المناطق التي استخدمت فيها مياه الابار والعيون الباردة المصفاة. ويظهر هذا العيب بصورة واضحة في الانابيب الملدنة (Annealed) والانابيب النصف مصلدة (Halfhard) ويبدو انه اقل حدوثا في الانابيب المسحوبة الصلدة (Hard). ومن مسببات هذا النوع من التاكل هو وجود الكربون المتخلف بعد عمليات التلدين ولذلك يجب تنظيف سطوح الانابيب قبل عملية التلدين من بقايا الزيوت اي قبل ادخالها في فرن التلدين.

#### 4- 5- 2 انابيب المكثفات والمبادلات الحرارية

يحصل التنقر في هذا النوع من الانابيب بسبب بقايا الكربون على سطح الانبوب ايضا. وهذا النوع من الانابيب غالبا ما يكون ذا طول محدد، وكلما كان الانبوب اطول وقطره الداخلي اصغر كلما زاد الخطر الناجم من احتمال تاكسد السطح الداخلي للانبوب اثناء عملية التلدين بسبب الاوكسجين المحصور داخل الانبوب. وقد ظهرت بعض المشاكل عند استخدام الانابيب المصنعة من البراص (30-70) وسبائك البراص-المنيوم. بسبب التاكل الناتج من الاجهادات الداخلية وعملية فقدان الخارصين (Dezincification) من السبيكة. وبعد دراسات عديدة تم حصر هذه المشاكل وتحديدتها ومن ثم تجنب حدوثها. فيستخدم الان البراص (30-70) في استعمالات الماء النقي وبراص الالمنيوم في استعمالات مياه البحر. اما بالنسبة للانابيب المصنعة من النحاس نيكل فان لنسبة الحديد في السبيكة اثر كبير في عملية التاكل التي تحصل في الانابيب ويبين الشكل (4-21) انخفاض معدل التاكل النقري مع زيادة نسبة الحديد في السبيكة وارتفاع مقاومة البلي لها في ان واحد.





شكل (4 - 21)

تأثير نسبة الحديد في سبيكة النحاس - نيكل على مقاومة التآكل و التعرية.

ومن اجل حماية سطح الانابيب المصنعة من براض الالمنيوم من التاكل يضاف قليلا من محلول كبريتات الحديدوز الى ماء التبريد وبانتظام وبمعدل جزء واحد من المليون (1ppm) لكل ساعة عمل، وهي وان كانت معالجة مكلفة ولكنها اثبتت نجاحا في محطات الطاقة وفي السفن البحرية. واكثر سبيكة ملائمة لهذا الغرض (للمبادلات الحرارية والمكثفات) سواء في السفن أو محطات الطاقة هي السبيكة (CuNi30Fe2Mn2) أي التي تحتوي 30%Ni ، 2%Fe، 2Mn% والمتبقي هو النحاس.

#### 4- 5- 3 خطوط الانابيب في مياه البحر وفي الغواصات:

تستخدم انابيب براص الالمنيوم والنحاس نيكل (CuNi10) على شكل الواح في السفن لاغراض متعددة تشمل انظمة تدوير مياه البحر (Sea water system circulating) والانظمة الصحية (Sanitary System) و انظمة السيطرة الهيدرولية والنيوماتية (الهوائية)، وخطوط الازالة (Stripping lines) في مخازن الزيوت. وفي معظم التطبيقات في اجزاء الغواصات تفضل سبائك نحاس - نيكل، فعلى سبيل المثال، تستخدم لخطوط نقل مياه البحر سبيكة (CuNi30).

وهناك عدد كبير من التطبيقات الاخرى لانابيب النحاس وسبائكه، فهي تستخدم في الصناعات النفطية والبتروكيميائية والكيميائية وصناعة السكر، اضافة الى محطات تقطير مياه البحر وفي اجهزة التكييف والتبريد. وكذلك في الموصلات المجوفة (Hollow Conductors) التي تدخل في اجزاء المحركات والافران والاجهزة الاخرى كملفات كهربائية قابلة للتبريد.

#### 4- 6 الاسلاك النحاسية (Copper wires)

استخدمت الاسلاك النحاسية منذ فجر التاريخ وحسب اللقى الاثرية، حيث كان قدماء البابليين والمصريين و السومريين ماهرين في صناعة الاسلاك النحاسية لاغراض الحلي والزخارف والزينة. لقد تم تطوير عمليات سحب الاسلاك خلال العصور الوسطى. وعند اكتشاف الكهرباء سنة 1847 برزت الحاجة الى الاسلاك النحاسية الطويلة وفي سنة 1850 استخدمت الاسلاك النحاسية للربط بين بريطانيا وفرنسا عبر المحيط. وفي بداية القرن العشرين ظلت عمليات سحب الاسلاك تجري باستخدام مكنة السحب ذات القالب الواحد (Bull Block) وفي سنة 1900 استخدمت مكائن سحب الاسلاك متعددة القوالب، وفي سنة 1920 تم استخدام قوالب كاربيدية (Tungsten carbides) والتي اعطت عمرا اطول وامكانية افضل للسحب.



#### 4- 6- 1 طرائق تصنيع الاسلاك النحاسية:

1. تصنيع خامة الاسلاك النحاسية بالاقطار الاولى.
  2. عمليات سحب الاسلاك النحاسية.
- تصنع الخامة الاساسية للأسلاك النحاسية (Drawing Stock) والتي تمثل المادة الاولى لعمليات السحب اللاحقة بالطرائق الآتية:
- أ. الدرفلة (Rolling)،

وتمثل هذه الطريقة التقليدية بعملية درفلة حارة للخامة النحاسية (Wire bar) حيث تسخن الى درجة حرارة اعلى من  $925^{\circ}\text{C}$  في ظروف اعتيادية ثم يدرفل بنظام الدرفلة المستمرة (Continuous Rolling Mill) ضمن سلسلة من مراحل التغيير في المقطع والى حد الوصول الى القطر المحدد حسب المسار التكنولوجي والذي يتراوح بين  $(6-22\text{mm}^2)$ ، ثم يلف هذا المنتج على شكل ملفات (Coils) وتجري لها عملية غسل لازالة الاكسدة الناتجة جراء الدرفلة الحارة، ويمكن ان تصل انتاجية هذا النوع من المكائن الى  $(30\text{ ton/h})$  اما اهم مساوئ هذه العملية فهي:

1- تكاليف انشاء المعدات كبيرة (تحتاج الى راس مال كبير) بالمقارنة مع تكاليف التشغيل المتعارف عليها للأسلاك.

2- قصر طول المنتج المصنع بهذه الطريقة ومن ثم الاحتياج الى عملية اللحام، ولمنطقة اللحام مساوئ باعتبارها منطقة تكثف فيها العيوب ومن ثم تكون ضعيفة اثناء عملية السحب.

3- عدم ملائمة مثل هذه الاسلاك لبعض التطبيقات الخاصة.

#### ب- السباكة المستمرة (Continuous Casting)

تم تشغيل اول مصنع في الولايات المتحدة الامريكية لانتاج مادة الاسلاك الخام (Wire bars) سنة 1963، حيث تم انتاجها في عدة شركات متنافسة وكل بطريقته حيث

تشابه من بعض الجوانب وتختلف من جوانب اخرى فيما بينها. وفيما ياتي ملخص لثلاث طرائق استخدمت في ثلاث شركات مشهورة وهي:

1- تصنيع اسلاك النحاس في شركة اسلاك الجنوب (South Wires Co.) حيث يتم سكب النحاس المنصهر بين مدرفلتين (اسطوانتين) ذاتا اخدود (مقعرتين) ومصنعتين من الفولاذ، يتم تبريد المعدن اثناء دوران الاسطوانتين برش تيار ماء مستمر عليه وهناك اسطوانات (مدرفلات) تساعد على سحب النحاس المتصلب على التقدم والخروج من بين اخدود الاسطوانات. يتم فيما بعد الغسل والاعداد للدرفلة اللاحقة والتي يتم خلالها تقليل مقاس المقطع حتى الوصول الى المقطع المطلوب. ثم يعد المنتج على شكل لفات جاهزة للتسويق.

2- التصنيع في شركة جي.اي.ديب فورم (J.A.Deep form co.)، تم ابتكار هذه الطريقة سنة 1964 وتتلخص باخذ قضيب من النحاس بقطر حوالي 9 mm وإمراره خلال حوض يحتوي على منصهر النحاس النقي وبمعدل ثابت. حيث يمثل هذا قضيب البذار (Seed rod) فيترسب النحاس على سطح القضيب بصورة منتظمة مؤديا الى زيادة قطره والذي يصل عند خروجه من الحوض الى 16.5 mm ومن ثم يتم درفلة القضيب الناتج في ماكينة ثنائية (2-Stand Mill) الى القطر المطلوب ثم يبرد ويتم لفه على شكل بكرات جاهزة للتسويق. وبصفة عامة فان العملية تجري عند ظروف مسيطر عليها بصورة دقيقة. وتستخدم هذه الطريقة لانتاج الاسلاك الدقيقة جدا حيث تصل الانتاجية الى حوالي عشرة اطنان في الساعة الواحدة.

3- طريقة اوتوكمبه (Auto Kumpu)، وهذه الطريقة مشابهة لعملية السباكة المستمرة الافقية (Horizontal Continuous Casting) حيث يتم فيها سحب المعدن الخارج من القالب الكرافيتي بعد تصلبه، وفيها تمتد احدى نهايتي القالب الى داخل المعدن المنصهر والنهاية الثانية تحاط بنظام تبريد بالماء (Water Jacket) وتختلف هذه الطريقة في ان اتجاه سحب المعدن الخارج يكون نحو الاعلى. وتصل



الانتاجية عندما يكون القالب المستخدم ذا اثني عشر فتحة الى حوالي اربعة عشر  
الف طن سنويا.

#### 4- 6- 2 سحب الاسلاك (Wire Drawing)

تستخدم ماكينة سحب الاسلاك احادية القالب (Pull Block) وبسرعة سحب تتراوح بين (1-2.5m/s) وباستخدام شحم حيواني كمادة تزييت، ويكون قالب السحب اما من النوع الكاربيدى (Tungsten Carbide) او الفولاذ الخاص المصلد، كما وتستخدم مكائن السحب المتعددة القوالب والتي تكون فيها القوالب متعاقبة من حيث اقطارها ابتداءً بالقالب ذي القياس الاكبر وحتى القالب ذي القطر الاصغر وحسب امكانية المعدن على تحمل التشكيل البارد بهذا الاسلوب. اما المادة الاساسية المستخدمة للانتاج فهي الاسلاك الخام والتي تصنع، كما ورد سابقا، بعمليات الدرفلة او السباكة المستمرة او بعمليات البثق. ومن اجل استمرار عملية السحب يتم تدبيب بداية سلك الملف الخام ومن ثم ادخاله في القالب وبعدئذ تربط نهاية سلك الملف الاول بالذي يليه بوساطة اللحام ويتم امرار السلك من قالب الى اخر حتى اختزال القطر من (8.3mm الى 2mm)، على سبيل المثال، وبسرعة سحب تصل الى 2.5m/s وبنفس الطريقة لكن بمكائن اصغر يمكن الحصول على اسلاك ذات اقطار صغيرة جدا. ويصل عدد القوالب المطلوبة للحصول على سلك قطره 0.5mm الى حوالي 20 قالب.

ويجب تزييت القوالب في جميع الاحوال من اجل تقليل بلي (Wear) القالب والاحتكاك وزيادة عمره والحصول على سطح صقيل للسلك المنتج. والسائل المتعارف عليه والمستخدم لهذه الغاية هو مستحلب من الصابون والشحم في الماء (Soap and Fat emulsion) بحيث توجد احواض خاصة في الماكينة يتم ضخ المحلول منها وتوزيعه على جميع القوالب. ويصل تركيز المحلول الى 7% للقوالب الاولى و3% للقوالب النهائية (ذات الاقطار الصغيرة). وقد استخدمت في الاونة الاخيرة مزيتات صناعية (Synthetic lubricants) لهذا الغرض.

ويمكن الاستمرار بسحب الاسلاك النحاسية الى نسب عالية جدا تصل الى 99% ولكن يجب اجراء عملية التلدين بعد نسبة تشكيل (تخفيض في المقطع) 90% بسبب تصلد المعدن انفعاليا (Strain hardening) ومن ثم نقصان كبير في مطيلته. تتم عملية التلدين بامرار السلك، بعد قوالب السحب، على نقاط تماس كهربائي تسمح بمرور تيار كهربائي كاف لرفع درجة حرارة السلك الى درجة حرارة التلدين المطلوبة وخلال وقت قصير ليكون السلك ملدنا، وهناك تقنية اخرى وذلك بامرار السلك خلال افران (او فرن) معينة وذات اجواء واقية حيث يمر المعدن وبسرعة محسوبة داخلها على اسطوانات متدحرجة فيكون زمن التلدين ثابتاً في هذه الحالة.



## الفصل الخامس

### الدرفلة (الدحو)

Rolling



## الفصل الخامس

### الدرفلة (الدحو) Rolling

#### المقدمة:

تمثل عملية الدرفلة احدى طرائق التشكيل المهمة التي تجرى على المعدن لتحديث تشويها في البنية البلورية والتي ينتج عنها تغييرا في خواص المعدن اضافة الى التغيير في شكله للحصول على مقاطع مختلفة ذات خواص وابعاد معينة. ويمثل التشكيل، بصفة عامة، اوسع عملية تصنيع بين جميع طرائق التصنيع الاخرى للمعادن لما تتميز به من طبيعة الاستمرارية في العملية وارتفاع نسبة الانتاج وامكانية تصنيع انواع واسعة من المنتجات وبنوعية عالية الجودة. لقد ساعدت عمليات الدرفلة على تقليل اوزان المكائن والاجهزة وذلك عن طريق استخدام المقاطع المسطحة والصفائح بدلا عن مصبوبات المعدن الثقيلة اضافة الى التوفير الاقتصادي عن طريق التقليل من كمية المعدن المستخدم وسهولة الاستخدام.

اما تكنولوجيا التشويه اللدن للمعدن بعمليات الدرفلة فهي كانت ولا تزال تمثل موضوع غزير وواسع للبحث والتطوير سواء كان من ناحية المكائن والمعدات المستخدمة او من ناحية المعدن نفسه وصولا الى الانتاج الافضل والاكثر اقتصادية في التشكيل والانتاج.

وتستخدم لعمليات الدرفلة المسبوكات المسطحة (Cakes)، حيث يتم تخفيض السمك بالدرفلة وصولا الى السمك النهائي المطلوب حيث يقابل ذلك زيادة في طول القطعة وعرضها والى حد ما، وغالبا ماتحتزل الزيادة في العرض باستخدام مدرفلات طرفية (Edge rolls) وتتولد الزيادة في الطول لعدم تغيير كتلة المعدن المستخدم. وتتم عملية الدرفلة باسلوبين في الغالب هما الدرفلة الحارة (Hot rolling) والدرفلة الباردة (Cold rolling) وسيتم ايضا ذلك مع بيان انواع المكائن المستخدمة ومواصفاتها.

## 2-5 الدرفلة الحارة (Hot Rolling)

تمثل عملية الدرفلة الحارة القسم الأكبر من عمليات الدرفلة من حيث الطاقة الانتاجية وامكانية اختزال السمك بصورة كبيرة وذلك لكون المعدن المراد تشكيله يسخن الى درجات حرارة عالية (اعلى من نصف الدرجة الحرارية المطلقة لانصهار المعدن) مما يوفر أنظمة انزلاق (Slip Systems) بلورية أكثر من ثم قابلية عالية على التشكيل. ويتم في عملية الدرفلة الحارة تخفيض سمك المعدن خلال مراحل (Passes) تشكيلية متعددة اعتماداً على طاقة الماكينة واعظم حمل لها ودرجة حرارة المعدن والتي يلزم ان تكون اعلى من درجة حرارة إعادة تبلور (Recrystallization Temperature) السبيكة. هذه الدرجة هي بمحدود ( $0.4 - 0.5T_m$ ) حيث تمثل  $T_m$  درجة انصهار السبيكة المطلقة. اما اذا انخفضت درجة حرارة السبيكة عن ذلك قبل انتهاء عملية الدرفلة فان التشكيل سوف لا يرقى الى التشكيل الحار ويسمى في بعض الاحيان بالتشكيل الدافئ (Warm Deformation) وعندها تبدأ خواص المعدن بالتغير نحو الحالة الباردة اي الصلدة. وتمثل درجة حرارة إعادة التبلور الحد الفاصل لطبيعة التشكيل الذي يجري على المعدن من حالة التشكيل على الحار الى التشكيل البارد حيث لا تتغير خواص المعدن عند التشكيل على الحار وذلك لقابلية المعدن على إعادة تبلوره (نشوء بلورات جديدة خالية من التشويه الذي تم نتيجة لعملية التشكيل) حيث يصبح المعدن وكأنه في حالة ملدنة. لا يمكن تحديد الدرجة الحرارية المطلقة لإعادة التبلور وذلك لاعتمادها على عدة عوامل اهمها كمية الشوائب الموجودة في السبيكة ومقدار التشكيل ولذا تكون ضمن مدى معين. وقد يؤثر هذا المدى على بعض مخططات التوازن الطوري. ويكون بمحدود ( $510 - 580^\circ\text{C}$ ) في نظام نحاس - خارصين.

وفي بعض الحالات الخاصة التي يشكل المعدن فيها عند درجة تكون بين درجة حرارة إعادة التبلور الخاصة به ودرجة الحرارة المنخفضة نسبياً أي درجة حرارة التشكيل على البارد وفي هذه الحالة تسمى بالدرفلة على الدافئ (Warm Rolling). وعند ذلك تكون خواص المعدن المشكل على الدافئ بين خواص المعدن المشكل على الحار

وخواصه على البارد. فعلى سبيل المثال، في حالة النحاس فإن درجة حرارة إعادة تبلوره بين  $(510-580^{\circ}\text{C})$  فتكون حالة الدرفلة على الدافئ هي بمحدود  $(250-450^{\circ}\text{C})$  تقريبا فعند اقل من ذلك تسمى درفلة على البارد. وكلما زادت كمية الشوائب في السبيكة ارتفعت درجة حرارة إعادة تبلورها وكلما زادت نسبة التشويه البارد للسبيكة قلت درجة حرارة إعادة التبلور الى حد ما. تجرى عملية الدرفلة الحارة للنحاس وسبائكه غالبا في ماكينة واحدة وتستخدم احيانا مكائن متعددة تكون غالبا ثنائية المدرفلات للماكينة الواحدة وتكون احيانا ذات مدرفلات متنوعة خصوصا في المكائن المتعددة والتي سيرد تفصيلها فيما بعد. وتكون ماكينة الدرفلة باتجاهين اي قابلة للدرفلة بالاتجاه المعاكس (Reversible Machine) حيث يمكن درفلة المعدن بالاتجاهين. اما بالنسبة للعدد المستخدمة فهي عبارة عن مدرفلتين اسطوانيتين مصنعة من فولاذ العُدِّد المُعامل حراريا بحيث يعطي صلادة عالية للمنطقة المعاملة من الاسطوانة (Roll) والتي تختلف صلابتها حسب استخدامها في عملية الدرفلة الحارة او الباردة ويكون سمك المنطقة المعاملة من الاسطوانة حوالي 15 mm. تدار المدرفلات عن طريق محور دوران ينقل الحركة من صندوق تروس (Gear Box) مرتبط بالمحرك الرئيس.

تتم عملية تبريد المدرفلات بوساطة سائل مستحلب (Emulsion) والذي يتكون في العادة من (3-5%) زيت مضافا اليه ماء فيه مادة تساعد على تجانس المحلول. ولايستخدم الزيت لوحده كسائل تبريد وذلك لارتفاع درجة حرارة المعدن اضافة لمتطلبات التبريد الكفوء للمدرفلات مع متطلبات الاحتكاك العالي للسمك الكبير الداخِل الى ماكينة الدرفلة. ومما تقدم يمكن ان نستنتج العوامل المؤثرة على عملية الدرفلة هي :

1- نوع المعدن المراد درفله ودرجة حرارته وسمكه عند دخوله الماكينة وخشونة سطحه.

2- قطر المدرفلات المستخدمة وخشونتها.

3- نوع سائل التبريد المستخدم.

4- طاقة الماكينة وقدرة المحرك الرئيس.



## 5- 2- 1 تسخين المسبوكة:

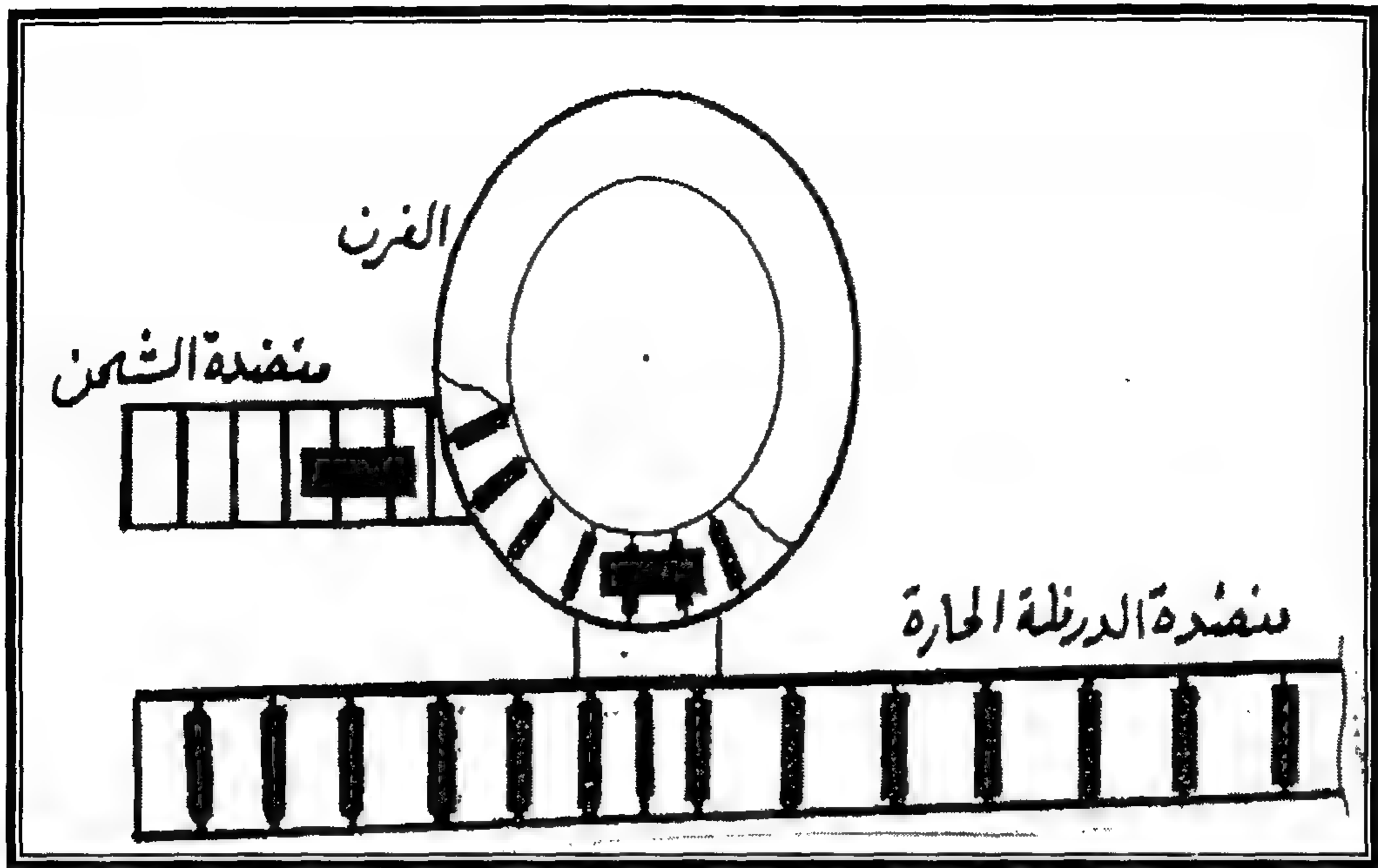
تتطلب عملية الدرفلة الحارة تسخين المسبوكة الى درجة حرارة التشكيل الحار المطلوبة والتي تكون بمحدود ( 0.8 - 0.95 ) من درجة الحرارة المثوية لانصهار المعدن. ولكون عملية التسخين معقدة في بعض الاحيان لذلك تجهز الافران باجهزة قياس وسيطرة اضافة الى امكانية تشغيلها يدويا وآليا (اوتوماتيكيا) ويجب ان تكون افران تسخين المسبوكات قريبة من مكائن الدرفلة بحيث يتم اخراج المسبوكات من الفرن مباشرة ليتم ادخالها الى ماكينة الدرفلة بوقت قصير ضمنا لعدم فقدان المسبوكة لدرجة حرارتها المطلوبة ولهذا تصمم الافران بتوافق مباشر مع منصدة الدرفلة.

يجرى تسخين المسبوكات على مراحل داخل فرن توزع فيه درجات الحرارة بانتظام، ويعتمد ذلك على نوع الفرن المستخدم وعادة ما تكون افران التسخين كبيرة وعريضة لتلائم ابعاد المسبوكات المستخدمة لعمليات الدرفلة، الا في بعض الانواع الخاصة، اضافة الى الانتاجية الاكبر. اما افران التسخين المستخدمة فتقسم الى:

## 1- اعتمادا على حركة المسبوكات داخل الفرن وكما ياتي:

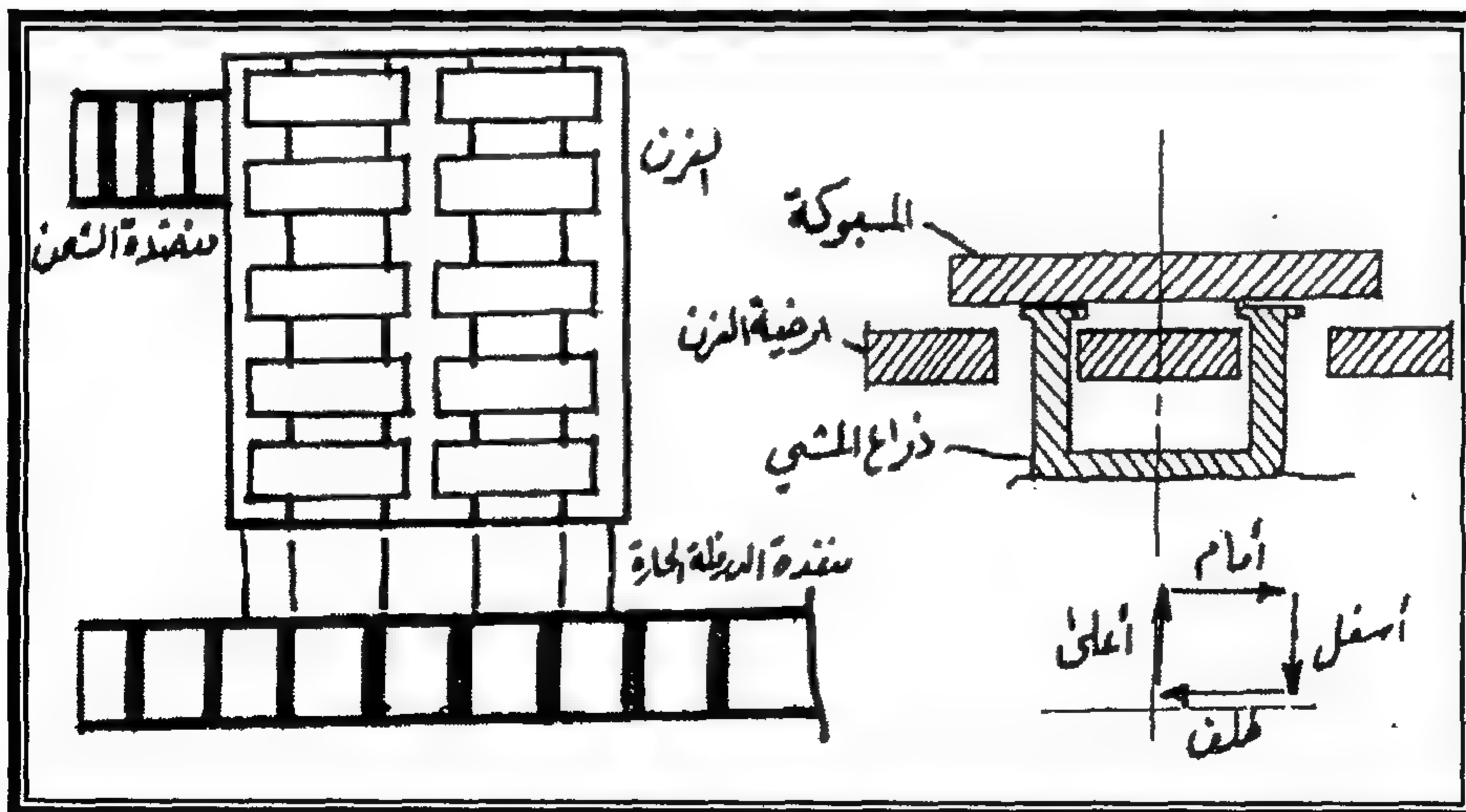
أ- الافران الدوارة (Rotary Furnaces) وفيها يتم انتقال المسبوكات داخل الفرن بوساطة اسطوانات وبشكل دائري وتستخدم بصورة خاصة للمسبوكات الصغيرة نسبيا كما في الشكل (5-1).

ب- افران ذات اذرع سير (Walking Beam Furnaces) وتستخدم للمسبوكات الكبيرة حيث يتم انتقال المسبوكة الى الامام فقط بوساطة اذرع تتحرك هيدروليكية الى الاعلى ثم الى الامام والاسفل حيث تسند المسبوكة على ارضية الفرن ومن ثم تعود الاذرع الى الوضع الاول. ويكون مقدار المسافة المتحركة اكبر قليلا من عرض المسبوكة. وتستخدم في بعض الافران الحركة الميكانيكية لاذرع السير كما هو موضح في الشكل (5-2).



شكل (5 - 1)

فرن تسخين المسبوكات من النوع الدوار.



شكل (5 - 2)

فرن تسخين المسبوكات نوع الفرن ذو اذرع مشي.

## 2- بناء على طريقة التسخين وكما يأتي:

- أ- الافران الكهربائية، وفيها تستخدم الطاقة الكهربائية للتسخين.
- ب- الافران الغازية، وفيها تستخدم المشاعل الغازية لتسخين الفرن.
- ج- الافران التي تستخدم الوقود السائل مع الهواء المضغوط.

## 5- 2- 2 تكنولوجيا التسخين (Haeting Technology)

ان من العوامل الاساسية والمؤثرة في عملية تسخين المسبوكات ما يأتي:

- 1- درجة الحرارة وتجانسها في الفرن.
  - 2- جو (محيط) الفرن.
  - 3- طريقة انتقال الحرارة الى المسبوكة والتجانس الحراري لها.
- تحدد درجة حرارة تسخين المسبوكة ضمن حدود التشكيل الحار للمعدن والمبينة في مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس - خارصين حيث تكون أعلى من درجة حرارة اعادة تبلور المسبوكة بكثير، بحيث ان درجة حرارة السبيكة (المعدن) في اخر مرحلة من المراحل المتعددة للدرفلة تبقى أعلى من درجة حرارة التبلور. كما يلزم ان تكون درجة حرارة المعدن لا تصل الى حالة الافراط في التسخين (Over Heating) والتي تؤدي الى حدوث تشقق في المسبوكة اثناء التشكيل الحار حيث يؤدي الى حالة التمزق الحراري اضافة الى صعوبة التشكيل في المراحل الاخيرة، وقد يؤدي عدم التجانس الحراري في المسبوكة الى حصول اجهادات حرارية تسبب احيانا تمزق المعدن وتشققه بشكل كبير.
- ان محيط (جو) الفرن والتكوين الكيميائي للسبيكة لهما اثر كبير على عملية الدرفلة ونوعية المنتج النهائي، وبناء على ذلك فانه قد تحصل اكسدة غير منتظمة او منتظمة محدودة او غير محدودة او اختزال للاكاسيد ناتج عن وجود الهيدروجين، ولذا فان حالة الجو المعتدل هي الافضل وقد يصبح احيانا من الصعب الحصول على مثل هذا الجو. فعلى سبيل المثال، فان سبيكة النحاس - خارصين - منغنيز يجب ان تسخن تحت ظروف مؤكسدة.

ان سرعة وصول درجة حرارة المسبوكة الى الدرجة المقررة لها يعتمد اساسا على حجم المسبوكة والتوصيلية الحرارية (Thermal Conductivity) لها والسعة الحرارية للفرن. حيث ان سرعة التسخين العالية تعني نقصانا في زمن التشغيل ومن ثم زيادة في الكميات المنتجة.

### 5- 3 انواع عمليات ومكائن الدرفلة

قبل التطرق لعمليات الدرفلة على البارد، من الجدير ان توضح بعض انواع العمليات التي تجرى في عملية الدرفلة اضافة الى انواع مكائن الدرفلة المستخدمة وتقسيماتها. تقسم عمليات الدرفلة الى عدة اقسام مبنية على اساس مختلفة فمنها على اساس شكل السبيكة او شكل العدة المستخدمة او نوع الماكينة وكما ياتي:

#### 5- 3- 1 عمليات الدرفلة على اساس شكل المنتج

##### أ- الدرفلة الطولية (Longitudinal Rolling)

وهي احدى عمليات الدرفلة التي تستخدم فيها مدرفلات اسطوانية متوازية مع بعضها ومتناظرة على خط الدوران وتكون حركة المعدن فيها الى الامام والخلف ويكون شكل المنتج فيها مسطحا وسيتم التطرق الى انواعها لاحقا.

##### ب- درفلة المقاطع (Cross Sectional Rolling)

وتستخدم بصورة خاصة للسبائك الحديدية والالمنيوم التي تستخدم بصورة واسعة وعلى شكل مقاطع مختلفة. وتكون المدرفلات فيها متناظرة على محور الدوران ومحور دوران المعدن في حالة درفلة معدن دائري المقطع.

##### ج- الدرفلة اللولبية (Screw Rolling)

وفي هذه الطريقة يتحرك المعدن حركتين في نفس الوقت حركة دورانية وحركة الى الامام وتكون المدرفلات فيها متناظرة حول محور الدوران وغير متوازية.

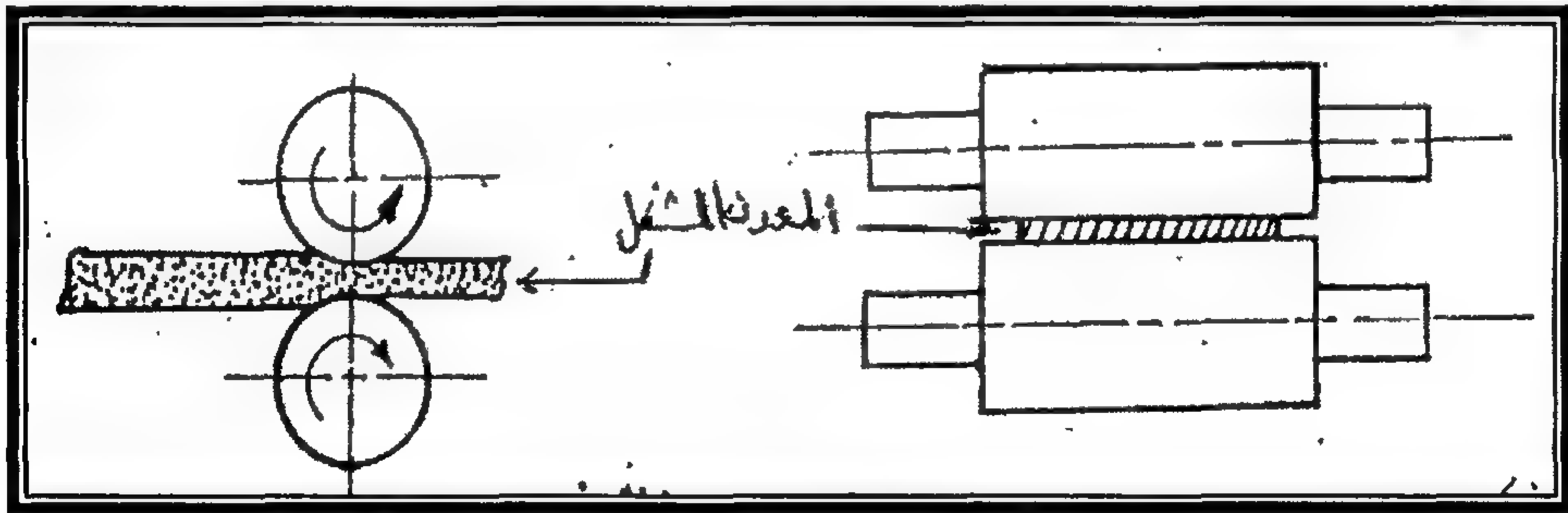


## 5- 3- 2 عمليات الدرفلة حسب نوع وشكل العدة المستخدمة

- أ- الدرفلة المسطحة (Flat Rolling) وتكون المدرفلات فيها اسطوانية مسطحة.
  - ب- الدرفلة ذات الأخدود (Groove Rolling) وتستخدم فيها المدرفلات التي تشكل الأخدود.
  - ج- الدرفلة الصقيلة (Polishing Rolling) وتستخدم فيها مدرفلات صقيلة ملساء للمنتج النهائي.
- 5- 3- 3 وتقسم مكائن الدرفلة أيضا على اساس عدد المدرفلات المستخدمة خصوصا في الدرفلة المسطحة وكالاتي:

### أ- ماكينة درفلة ثنائية المدرفلات

وتكون المدرفلتان متساويتان بالقطر والطول ومتوازيتان وذات قطر كبير نسبيا وحسب الاستخدام. حيث تستخدم غالبا في مكائن الدرفلة الحارة وبقطر يتراوح بين (750-800mm) وذلك لمقاومة الحمل الناتج عن عملية الدرفلة. وقد تستخدم في مكائن الدرفلة على البارد للمنتجات الوسطية ذات السمك العالي وليس للمنتجات النهائية ذات السمك القليل، اقل من 1mm. ويبين الشكل (5-3) عملية الدرفلة من هذا النوع.



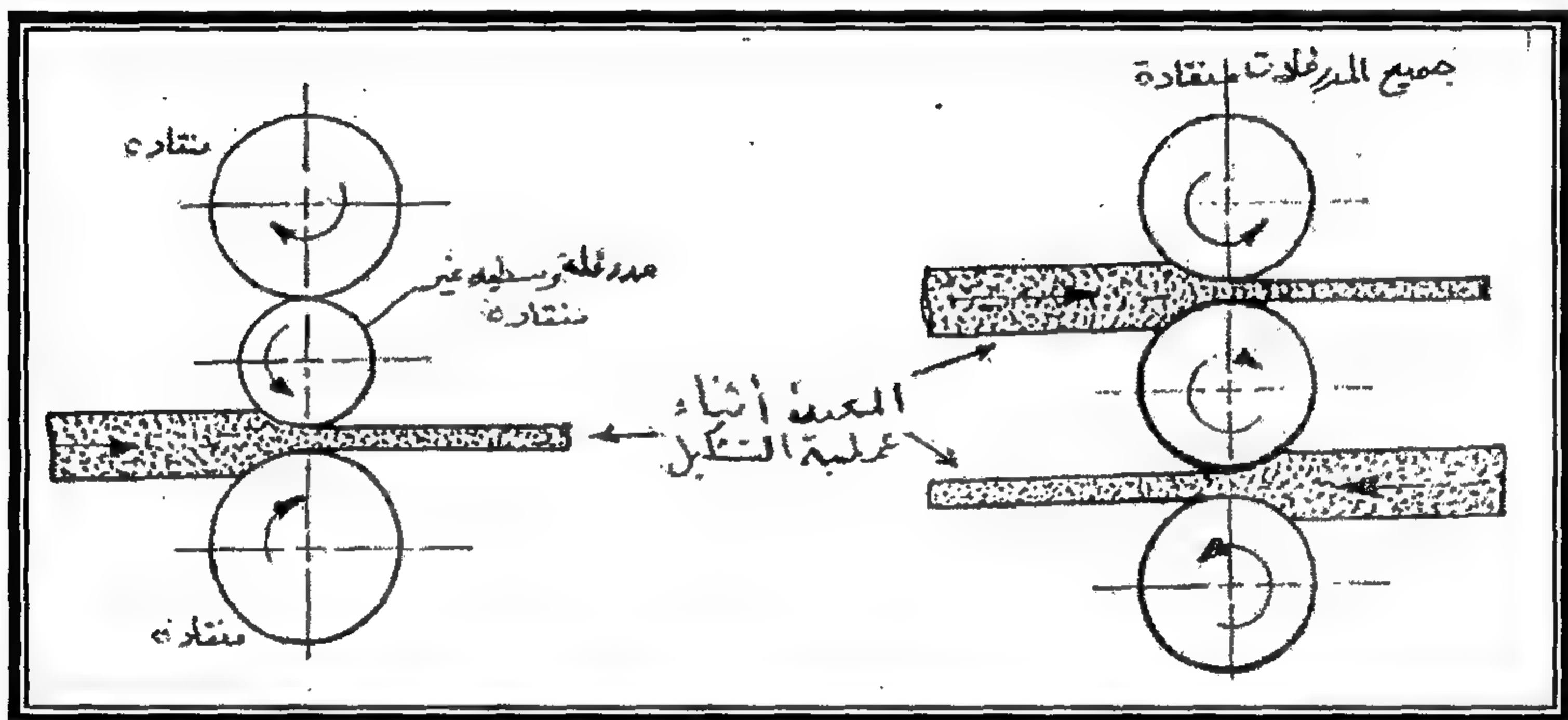
شكل (5 - 3)

عملية الدرفلة باستخدام مدرفلتين.



### ب- ماكينة ثلاثية المدرفلات (Three high Mill)

وتكون على نوعين اما جميعها منقادة (متصلة) بمحرك رئيس او اثنتان منها منقادة والاخرى تكون اصغر قطرا وغير منقادة. وتستخدم في مكائن الدرفلة الباردة ولانتاج المقاطع نصف المصنعة. وتحصل في بعض الاحيان اكثر من عملية درفلة واحدة خلال مرور القطعة بين المدرفلات حيث يمكن اجراء نسبة عالية من التشكيل. ويمكن ايضا ذلك في الشكل (4-5).



شكل (4 - 5)

ماكينة ثلاثية المدرفلات.

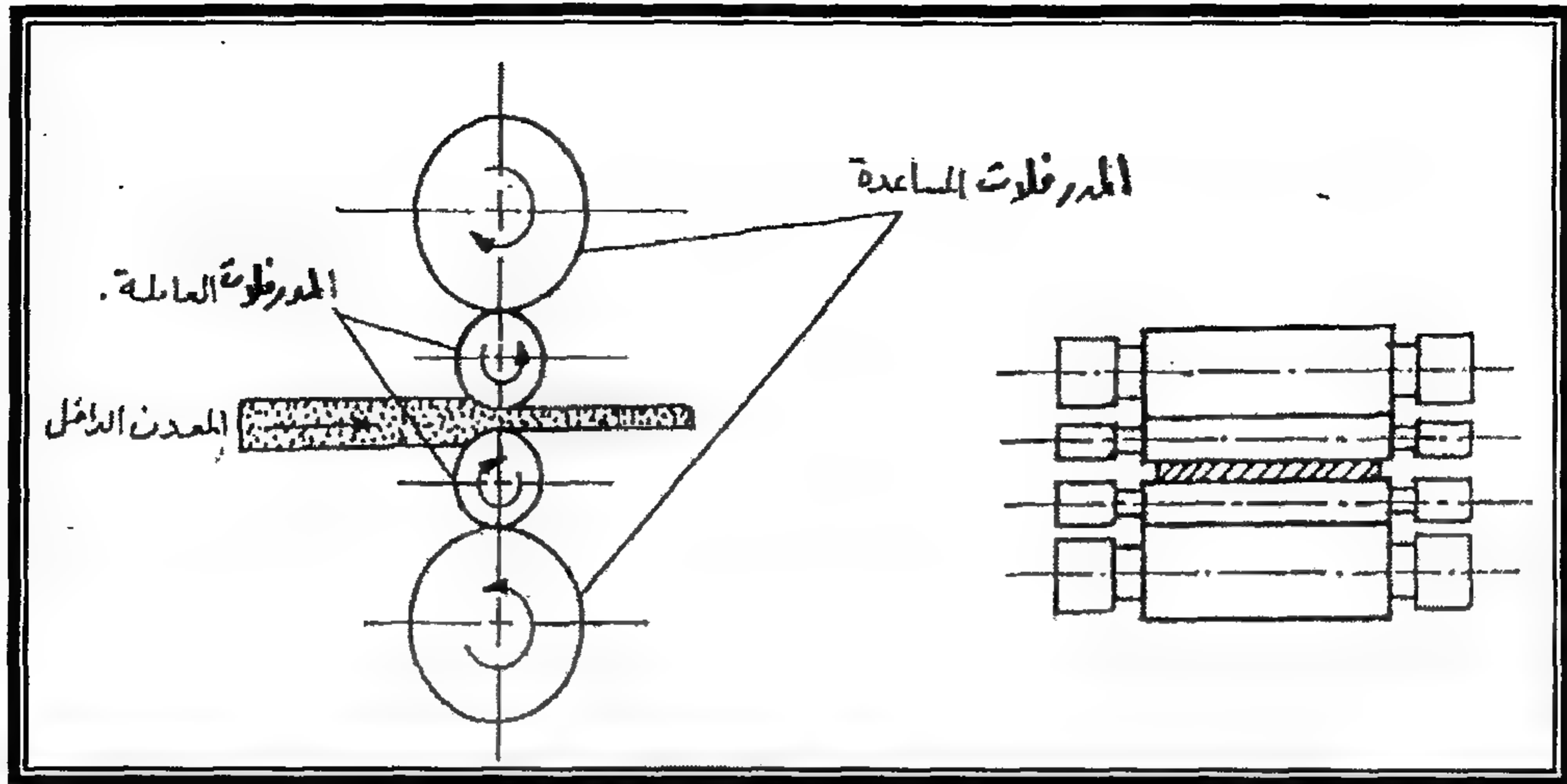
### ج- ماكينة درفلة رباعية المدرفلات (Four high mill)

وهي اكثر الانواع شيوعا في الاستخدام في عمليات الدرفلة المسطحة (للشرايح) حيث يستخدم فيها زوجان من المدرفلات. احدهما عامل ويمر المعدن من بينهما حيث يتم تخفيض سمكه. وتدار المدرفلات من محرك رئيس وتكون المدرفلتان متساويتان بالقطر (اسطوانيتان) لكونهما على تماس مع المعدن. ويكون سمك المعدن بقدر المسافة بين المدرفلتين، وفي حالة وجود اختلاف في قطر المدرفلة على مدى طولها فسوف لا يكون

سمك المعدن المشكل متجانسا. أما الزوج الاخر من المدرفلات فيمثل مدرفلتين مساعدتين (الساندتين) (Back-up Rolls). وتكون بالطبع على تماس مع المدرفلتين العاملتين (Working Rolls) حيث تدور بفعل التماس. وتستخدم المدرفلات الساندة لهدفين رئيسيين هما:

1- بفعل وجود المدرفلات الساندة فان انحناء المدرفلات العاملة سوف يكون اقل بكثير مما هو عليه لو استخدمت المدرفلات العاملة لوحدها كماكنة ثنائية المدرفلات. ان تقليل الانحناء الناتج بسبب ضغط المعدن على المدرفلات او ما يسمى بحمل الدرفلة (Rolling Load) سيؤدي الى عدم وجود اختلاف كبير في السمك خلال المقطع العرضي للمعدن المشكل الناتج (اي ان الفرق بين سمك المعدن المشكل عند حافتيه ووسطه سيكون قليلا جدا).

2- ان استخدام المدرفلات الساندة يمنحنا القابلية على استخدام مدرفلات ذات قطر اصغر بكثير من قطر المدرفلات الساندة، ينتج عن ذلك امكانية الحصول على سمك قليل جدا للمعدن المشكل بحيث يصل الى (0.05mm) وحسب نوع المعدن و قطر المدرفلات العاملة. ففي النحاس النقي يمكن الحصول على هذا السمك باستخدام ماكينة رباعية المدرفلات ويمكن الحصول على اقل من ذلك لمعدن الالمنيوم النقي على سبيل المثال. وهنا تكون المدرفلات العاملة والساندة متوازية مع بعضها وغالبا ما تكون على محور دوران عمودي واحد الا في بعض الانواع القليلة التي يكون محور دوران المدرفلات العاملة مزاح عن محور المدرفلات الساندة بمسافة قليلة جدا. يبين الشكل (5-5) ترتيب المدرفلات في الماكينة الرباعية.

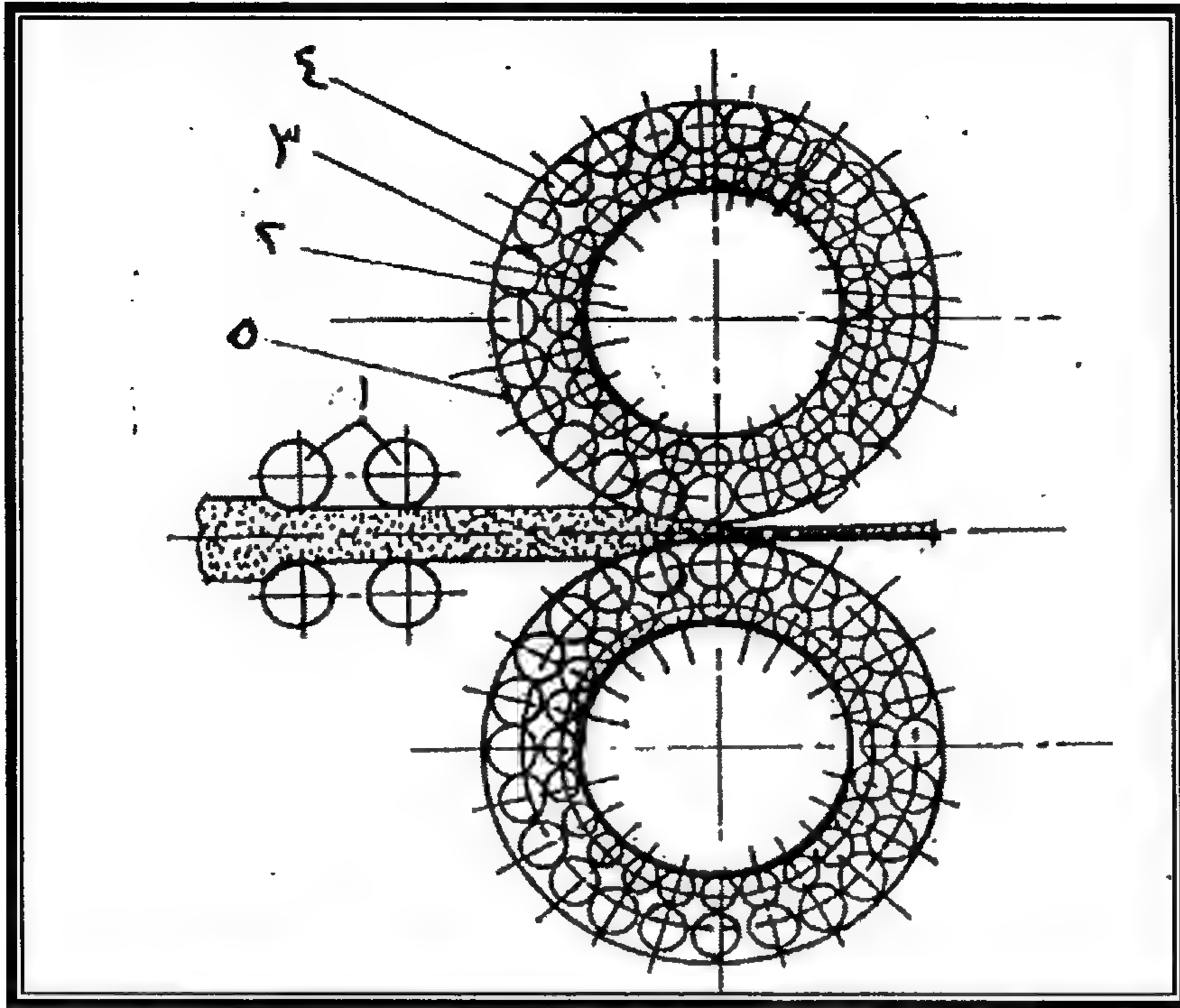


شكل ( 5 - 5 )

مخطط المدرفلات لمآكنة رباعية.

د- مآكنة الدرلفة الكوكبية (Planetary rolling mill)

يستخدم هذا النوع من المآكن لدرلفة شرائح بعرض (200-400mm) ولسمك (70-140mm). وتتضمن المآكنة مدرفلات مساعدة بقطر حوالي (820 mm) والتي يركب حولها 24 مدرفلة وسطية و 24 مدرفلة عاملة كما الشكل (5-6). أما قطر مجموعة المدرفلات هذه فحوالي (105 mm) وبشكل قفص دوار. حيث يتم ادخال المعدن المراد تشكيله بسرعة (3.6m/s) تقريبا بواسطة مدرفلات تغذية مثبتة قبل مجموعة المدرفلات الرئيسية. تصل نسبة التشكيل في هذه التقنية الى 98 %. وقد تم تطويرها ليتمكن درفلة معدن بعرض (750mm) او اكثر.



الشكل (5 - 6)

مخطط المدرفلات المستخدمة في الماكينة الكوكبية.

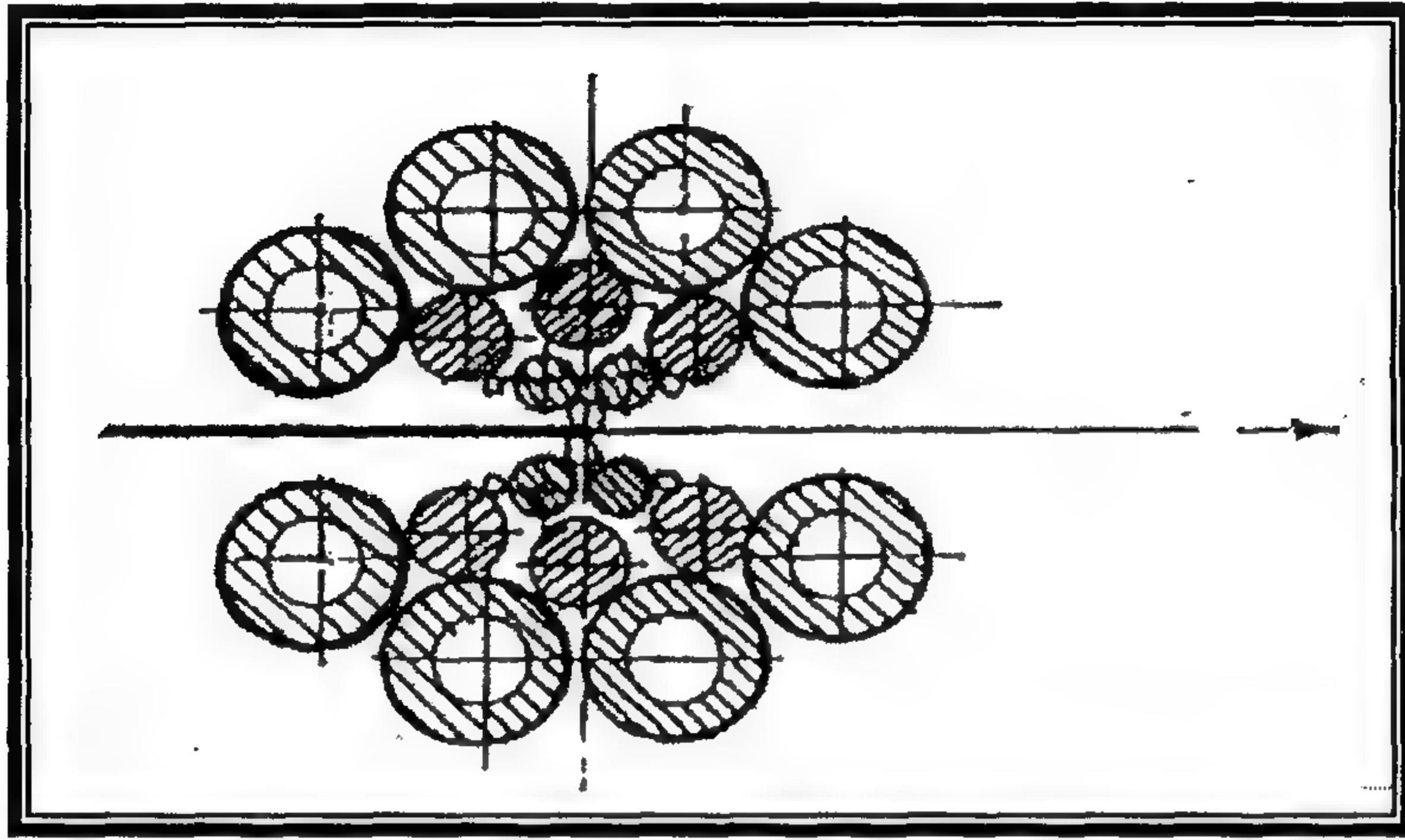
- 1- مدرفلات دفع المعدن Push rolls
- 2- مدرفلات مساندة Back-up rolls
- 3- مدرفلات وسطية Intermediate rolls
- 4- مدرفلات عاملة Working rolls
- 5- حلقة بشكل قفص Loop as a cage

هـ- الماكينة متعددة المدرفلات ( Multi rolls mill )

تستخدم هذه الانواع من المكائن بصورة رئيسة في درفلة الشرائط ذات السمك القليل جدا (Thin Strips). ومن امثلة هذا النوع الماكينة التي تدعى سندزمر (Sendzimir) المكونة من 20 مدرفلة، وهناك انواع اخرى مصنعة من قبل شركات عدة تختلف



باختلاف عرض المعدن المراد تشكيله. ويصل سمك المعدن المدرفل الى (0.003mm) وبعرض يصل الى (1000mm)، اوبسمك (0.1mm) وعرض يصل الى (mm 1500) و بسرعة درفلة تصل الى (10m/s). وتكون اقطار المدرفلات العاملة بين (3-55mm) اما اقطار المدرفلات المساعدة فهي بين (38-300mm) كما في الشكل (5 - 7).



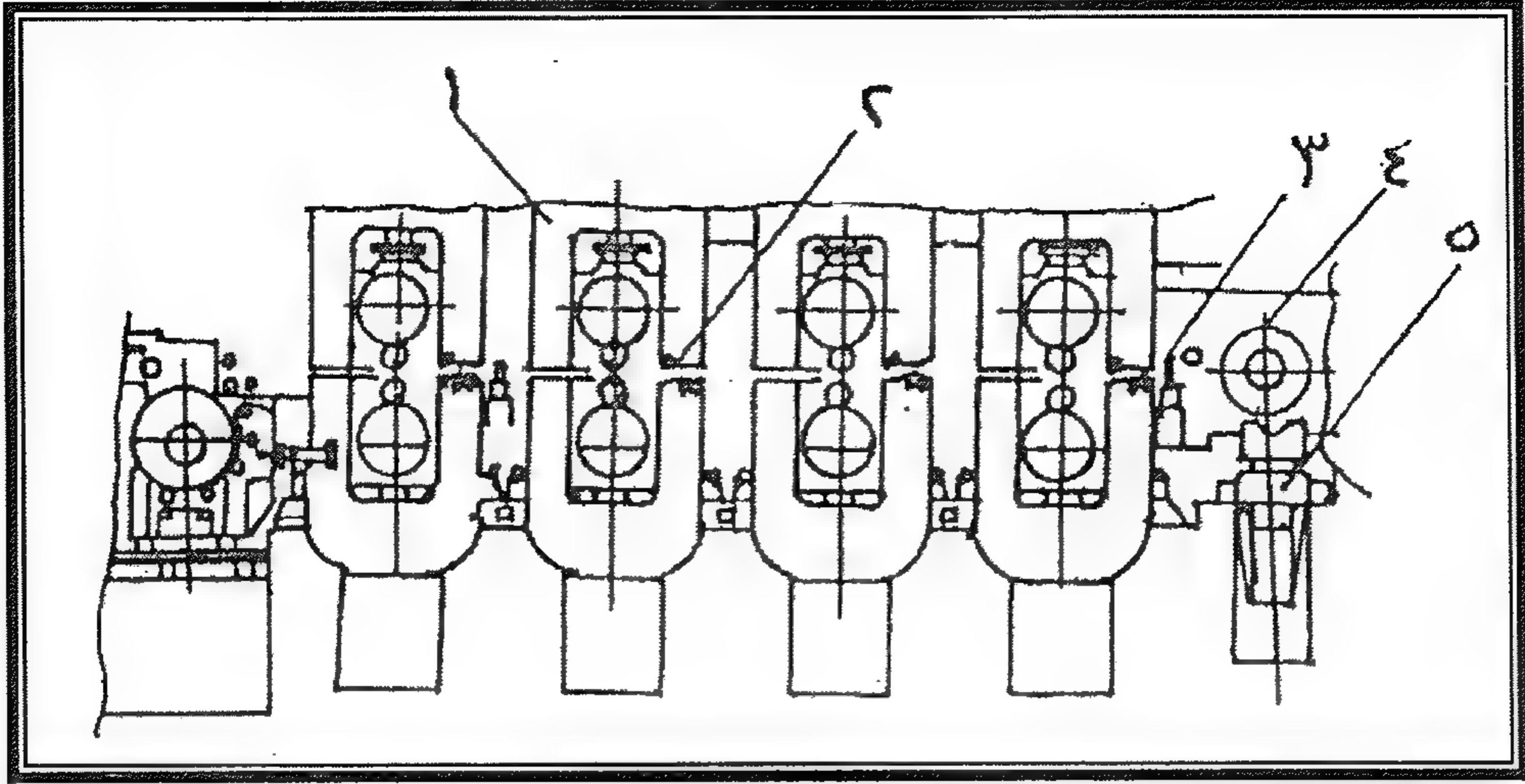
شكل (5 - 7)

ماكينة درفلة متعددة المدرفلات.

و- مكائن درفلة كثيرة العدد (Multi Stand Mills)

وتمثل عادة مكائن رباعية المدرفلات، وتستخدم فيها بين ماكنتين الى ستة مكائن، وتستخدم في بعض الاحيان ماكنتين من نوع ثنائية المدرفلات الا ان الشائع منها، مكائن رباعية المدرفلات، اما عدد المكائن فيها فهي اما اربعة او خمسة. حيث تتم الدرفلة بعدة مراحل خلال هذا العدد من المكائن وبصورة متواصلة كما هو مبين في الشكل (5-8). اما الاشكال (5-9) الى (5-12) فهي صور فتوغرافية لبعض انواع مكائن الدرفلة المختلفة.





شكل (5-8)

مخطط ماكينة درفلة رباعية العدد و أجزائها الأخرى.

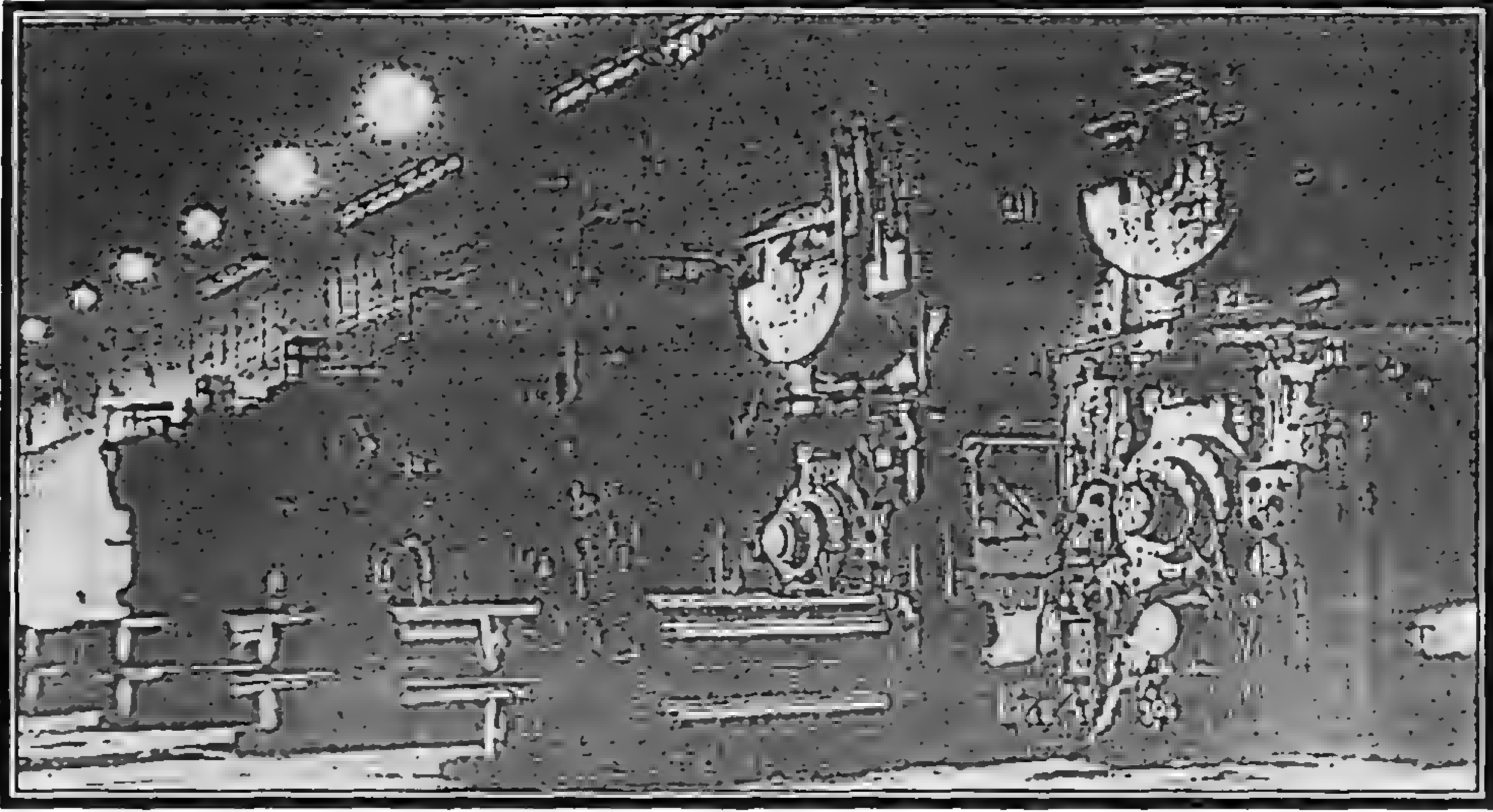
1- جسم الماكينة Mill stand.

2- جهاز قياس الشد بين المكائن.

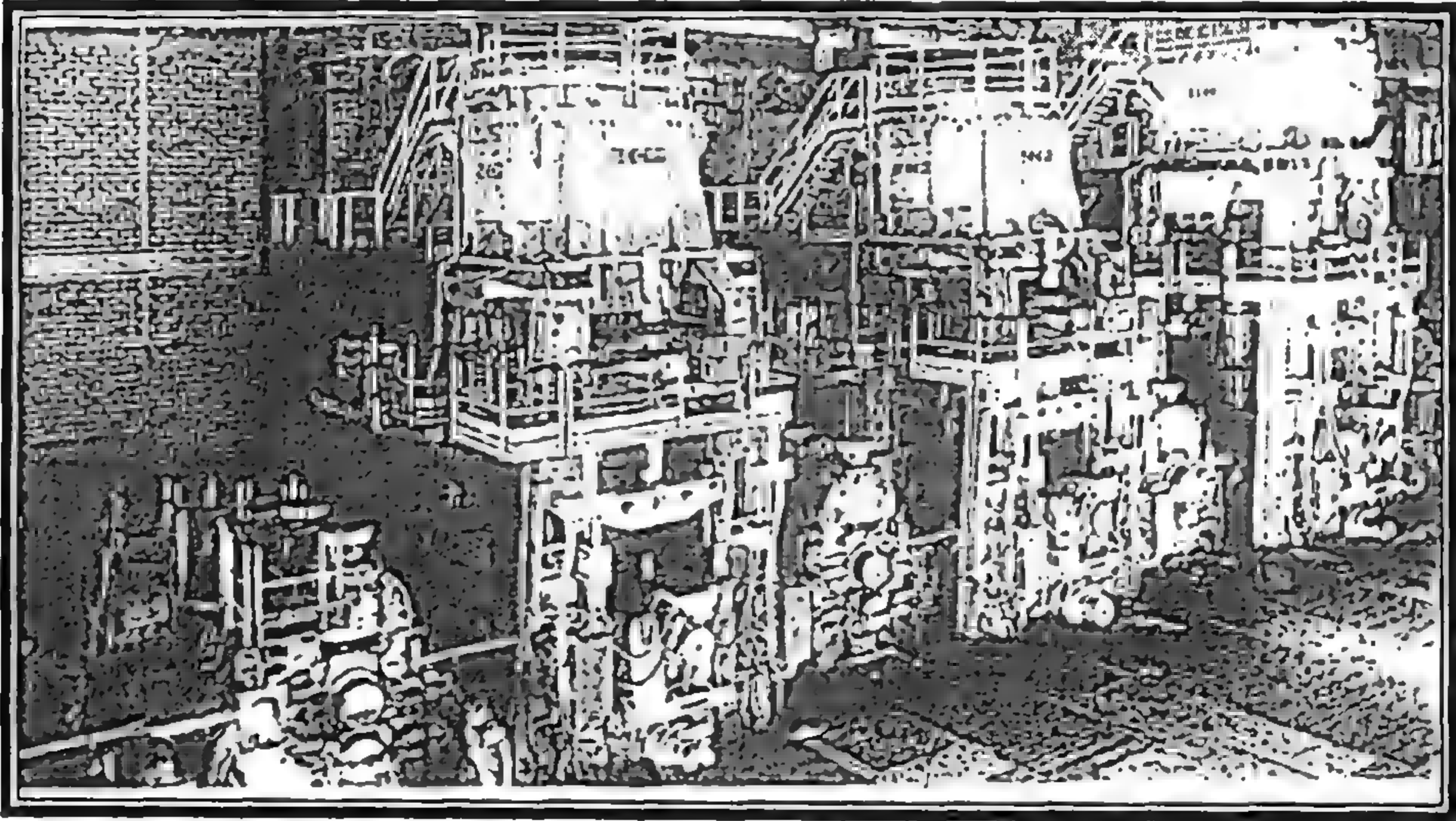
3- جهاز قياس السمك.

4- الملف Coiler.

5- عربة نقل المعدن.

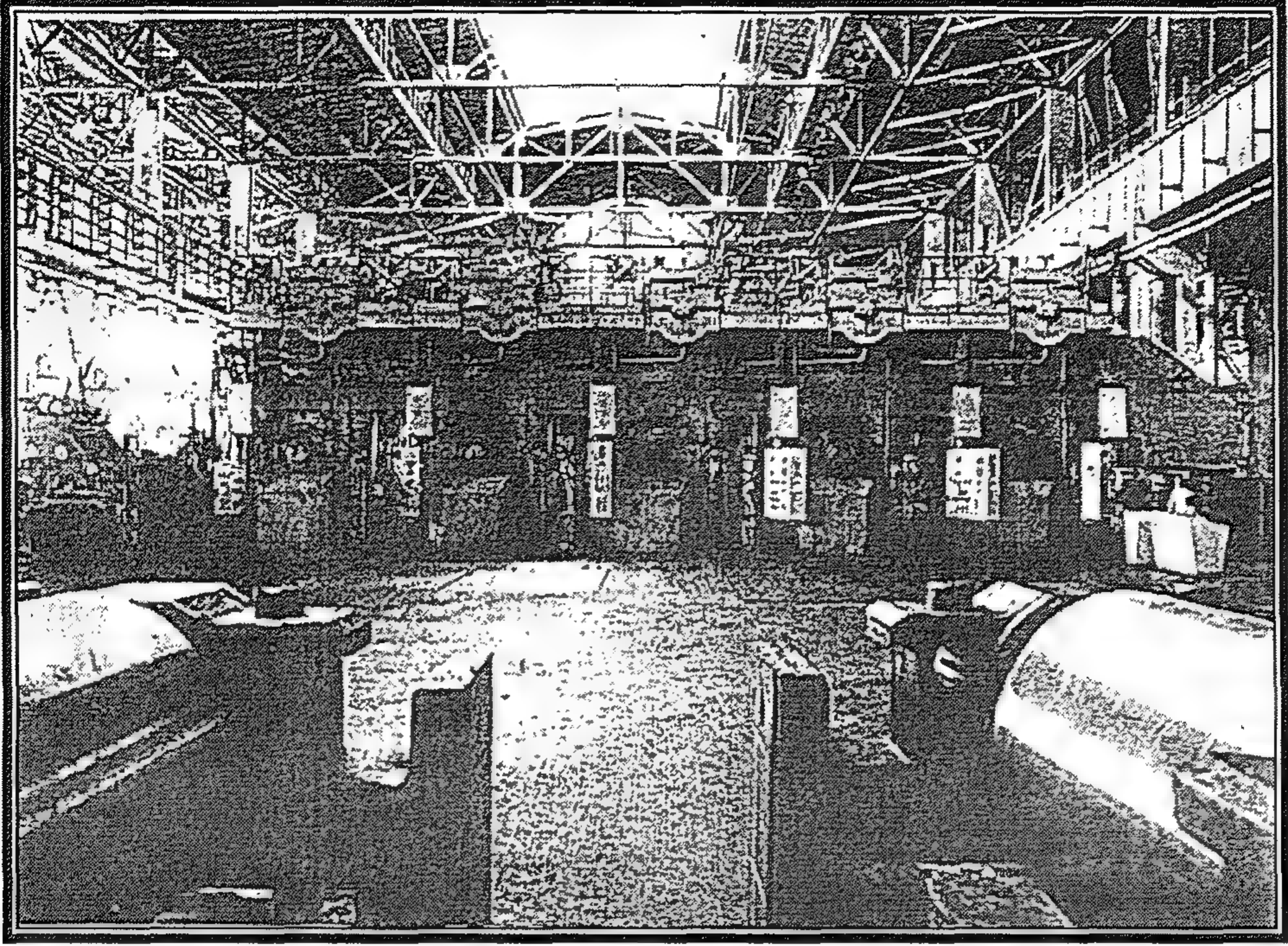


شكل (5 - 9)  
مكائن متعددة للدرفلة على الحار.



الشكل (5-10)  
مكائن درفلة على الحار متعددة للدرفلة المقاطع المحددة.

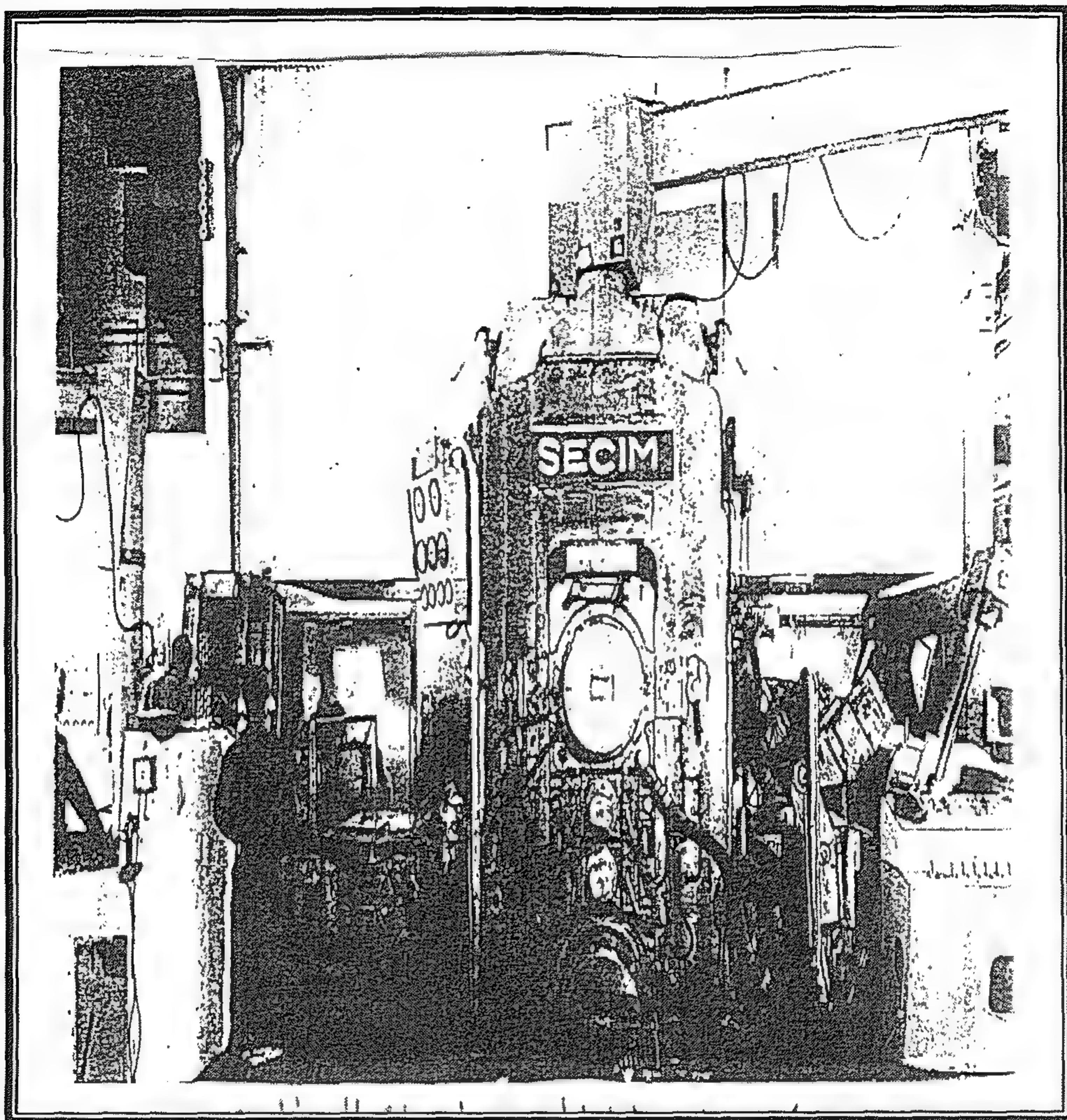




شكل (5 - 11)

مكائن درفلة على البارد متعددة، و يظهر جانبا شكل المدرفلات التي تستخدم فيها.





شكل (5-12)

ماكينة درفلة على البارد رباعية المدرفلات.

## 5- 4 تهيئة المعدن لعملية الدرفلة الباردة

( Metal preparation for cold rolling )

تعتمد ابعاد البلاطة (Slab) المراد تشكيلها على الحار على ابعاد المنتج النهائي المطلوب حيث يحدد سمك البلاطة في كل مرحلة من مراحل الدرفلة تكنولوجيا. ويتم عادة انتهاء عملية الدرفلة الحارة بسمك (8-12mm) للمنتجات المطلوبة بسمك قليل وغالبا ماتكون الصفيحة بصورة ملفوفة (Coil or Roll) ويمكن الحصول على صفائح ذات سمك اعلى وحسب ما تتطلبه تكنولوجيا المنتج. ويتم تبريد المعدن بعد انتهاء عملية الدرفلة الحارة في الهواء او في حوض ماء ويستخدم في اغلب الاحيان الاسلوبين وبهذا تصبح الصفيحة جاهزة للمراحل الانتاجية اللاحقة.

يكسو سطح المعدن المنتج عادة طبقة من الاكاسيد المتكونة بسبب الحرارة العالية التي يصلها المعدن في عملية الدرفلة الحارة وتتم ازالتها بعملية التفريز لسطحي المنتج وجوانبه، حيث يزال حوالي 0.5mm من كل سطح و حوالي (1-3mm) من جانبي الصفيحة. تستخدم في عملية التفريز عدد تفريز خاصة (وذلك بسبب عرض الصفيحة الذي قد يصل احيانا الى (1200mm)) تكون على شكل اسطواني تحتوي على اخاديد ممتدة على طولها وبصورة حلزونية حيث يتم تثبيت لقم القطع فيها ثم تثبت هذه العدة في ماكينة خاصة للتفريز. وقد تزال الاكاسيد بغسل المنتج بالحامض (Pickling) وخصوصا في المنتجات قليلة الوزن والابعاد.

## 5- 5 الدرفلة الباردة (Cold Rolling)

وهي احدى عمليات التشكيل البارد التي تحدث تشوها في البنية الدقيقة للمعدن والتي تؤدي الى تغيير خواص المعدن الميكانيكية من حيث مقاومة الشد والمتانة المطيلية والصلادة. اما مدى التغيير فيعتمد على نوع وطبيعة المعدن ومقدار الاختزال في السمك. ويكون المعدن الداخل لعملية الدرفلة الباردة هو المعدن الذي سبق ان درفل على الحار او معامل حراريا (ملدن) وفي كلتا الحالتين يكون المعدن بحالته اللينة (Soft) ومن ثم له



قابلية عالية على تحمل اكبر اختزال ممكن في السمك بين مراحل الدرفلة والتي يمتاز بها النحاس وسبائكه.

تقسم مكائن الدرفلة الباردة وحسب استخداماتها في المصانع الانتاجية الى ثلاثة انواع فمنها مكائن انتاج اولية حيث لا تتطلب دقة عالية في المنتج من ابعاد ونوعية سطح، ومنها ما تكون وسطية بحيث تجهز المكائن الاخرى بمنتجات ذات دقة اكبر لضمان جودة عالية في المنتج النهائي. اما النوع الثالث فهي مكائن الانتاج النهائي التي تتطلب دقة عالية في المنتج الداخل الى الماكينة لتعطي دقة اعلى في المنتج النهائي والذي يرسل الى الجهة المستفيدة.

يكون المعدن المراد تشكيله على ماكينة الدرفلة الباردة بصورة ملفوفة (Coil) عادة يتم تثبيته في الماكينة في جزء خاص يدعى المفل (Decoiler) حيث يلف المعدن بعد درفلته الى جزء اخر يدعى الملف (Coiler). يمكن بعد ذلك درفلة المعدن ولعدة مراحل، حتى الوصول الى السمك المطلوب، بين ملفين حيث تكون مكائن الدرفلة الباردة من النوع الذي يعكس الاتجاه (Reversible Mill) اي بتغيير اتجاه الحركة  $180^\circ$  بعد اتمام الدرفلة بالاتجاه الاول وهكذا.

تتم عملية الدرفلة في الظروف الاعتيادية من دون رفع درجة حرارة المعدن عدا تلك التي تنشأ في المعدن والناجمة من الاحتكاك الداخلي (Internal Friction) في البنية الدقيقة للمعدن بسبب التشوه اللدن (Plastic deformation) وفي هذه الحالة تكون درجة الحرارة الناتجة قليلة ولا يمكن ان تصل الى درجة حرارة اعادة تبلور المعدن، عدا الحالة التي يكون فيها ذو درجة انصهار واطئة جدا كالرصاص على سبيل المثال. ولهذا السبب فان التشوه الحاصل في البنية الدقيقة يؤدي الى زيادة مقاومة المعدن وصلادته. تعتمد هذه الزيادة على نسبة التشكيل البارد. ويمكن تشكيل النحاس النقي بنسبة تصل الى 98% بينما تقل هذه النسبة في سبائك النحاس (كسبيكة البراص 30-70) حيث تصل الى 75% وتصبح السبيكة عند هذه النسبة من التشكيل صلبة جدا لتصل الى ما

يدعى بصلادة النابض (Spring hard). والجدول (1-5) يبين التغير الحاصل في خواص السبيكة الميكانيكية لنسب تشكيل معينة ولسبائك مختلفة.

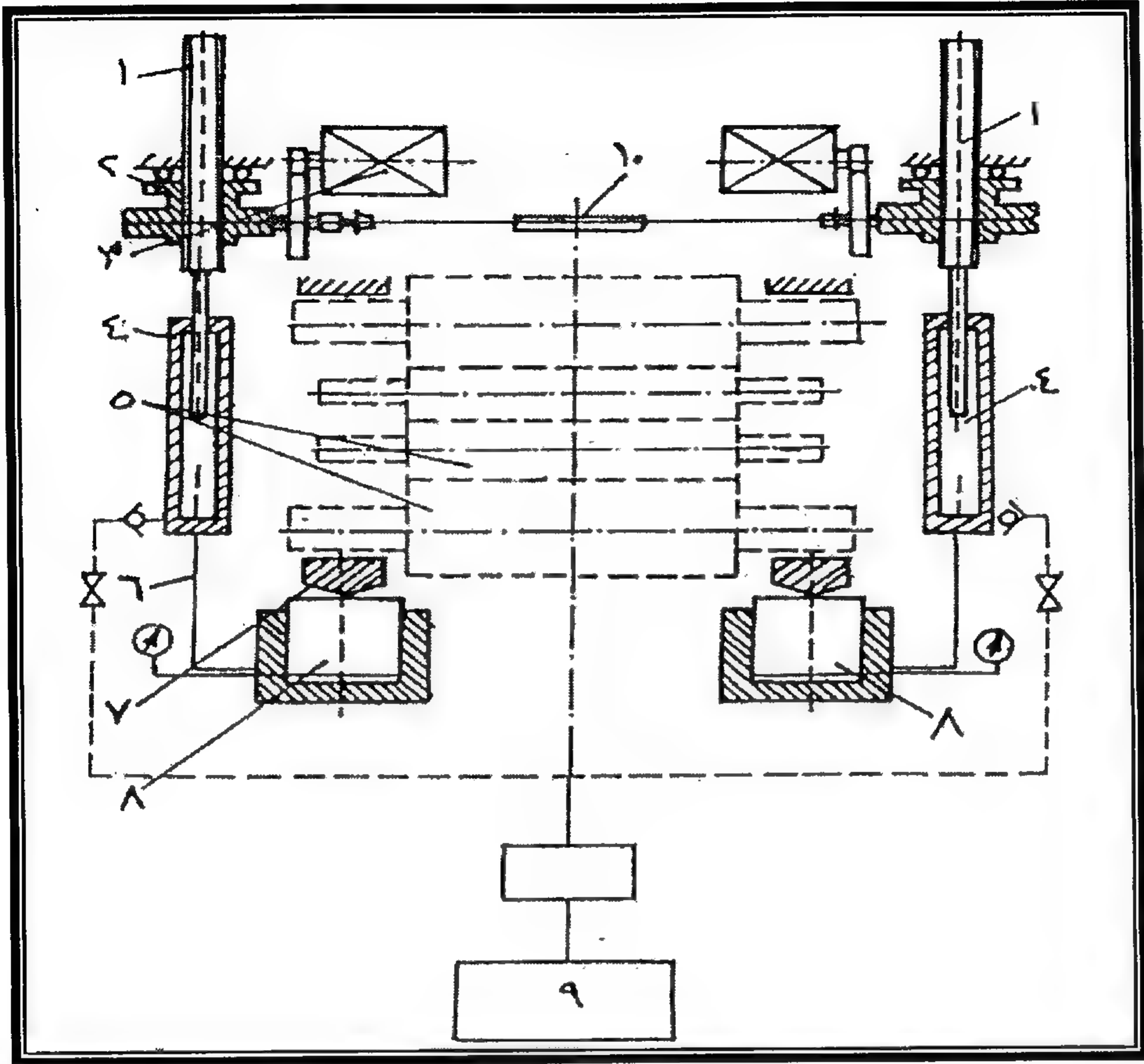
### الجدول (1-5)

علاقة نسبة التشكيل بالخواص الميكانيكية لبعض السبائك.

حالة السبيكة	الخواص الميكانيكية حسب المواصفة الألمانية DIN				نسبة التشكيل	السبيكة
	مقاومة الصمود ( 2.0%) N/mm <sup>2</sup>	مقاومة الشد N/mm <sup>2</sup>	الطيلية %	الصلادة HB		
لدنة	≤100	200 - 250	≥ 36	≈ 55	صفر	نحاس Cu
1/2 صلدة	≥150	250-300	≥ 12	≈ 95	0-20%	
صلدة	≥ 250	>300	≥6	≥ 105	>20%	
لدنة	≤ 160	280-350	≥ 45	≈ 70	صفر	براص (30-70) CuZn30
2/1 صلدة	≥ 300	350-420	≥30	≈110	0-20%	
صلدة	≥ 470	>420	≥ 12	≥ 130	> 20%	
لدنة	≤ 200	290-370	≥ 44	≈ 70	صفر	براص 63 CuZn37
1/2 صلدة	≥ 370	370-440	≥ 24	≈110	0-20%	
صلدة	≥ 490	>440	≥ 8	≥ 135	>20%	

ويمكن إعادة المعدن الى حالة الليونة (Softness) عن طريق تلدينه بدرجة حرارة اعلى من درجة حرارة إعادة تبلوره (Recrystallization temperature) وعندئذ يتقبل المعدن نسبة تشكيل اضافية (جديدة) وحسب طبيعته. ولهذا السبب يتم تخفيض سمك المعدن الداخلى الى الدرفلة الباردة من (8-12mm الى 0.05mm) للنحاس النقي والى

(0.1mm) لسبائك النحاس حيث يتخلل عملية الدرفلة عملية بينية لتلدين المعدن. تجهز مكائن الدرفلة بأجهزة سيطرة على فتحة المدرفلات (اي السيطرة على المسافة بين المدرفلات) (Gap distance) والتي تحدد سمك المعدن. تستخدم اجهزة السيطرة الميكانيكية والتي تدار بوساطة لولب ميكانيكي لتصغير المقطع (Mechanical Screw down) يثبت فوق مرتكزات تحميل المدرفلات يشغل بمحرك كهربائي وتنقل الحركة عن طريق صندوق تروس (Gear Box). لقد تم تطوير مكائن الدرفلة باستخدام اجهزة سيطرة آلية ذات دقة عالية (Automatic Control System) تتم السيطرة على المسافة بين المدرفلات هيدروليا (Hydraulic). وتتم السيطرة عن طريق قياس سمك المعدن الخارج بأجهزة قياس دقيقة ثم يتم تصحيح السمك يدويا او آليا اذا تطلب الامر ذلك. وقد تستخدم اجهزة سيطرة هيدروميكانيكية (Hydro mechanical screw down) لتغيير المسافة بين المدرفلات وكما مبين في الشكل (5-13). حيث تتم السيطرة ميكانيكيا عن طريق لولب يتصل باسطوانة هيدرولية تغذي اسطوانة تغيير المقطع.



الشكل (5-13)

مخطط اجهزة السيطرة الهيدروميكانكية لتغيير المسافة بين المدرفلات لماكنة الدرفلة الباردة.

- 1- لولب (برغي) التغيير
- 2- ثرس نقل الحركة
- 3- محرك كهربائي
- 4- موجة الضغط الهيدرولي
- 5- اسطوانات الدرفلة
- 6- انبوب هيدرولي



7- مسند الاسطوانات (المدرفلات)

8- الاسطوانة الهيدرولية

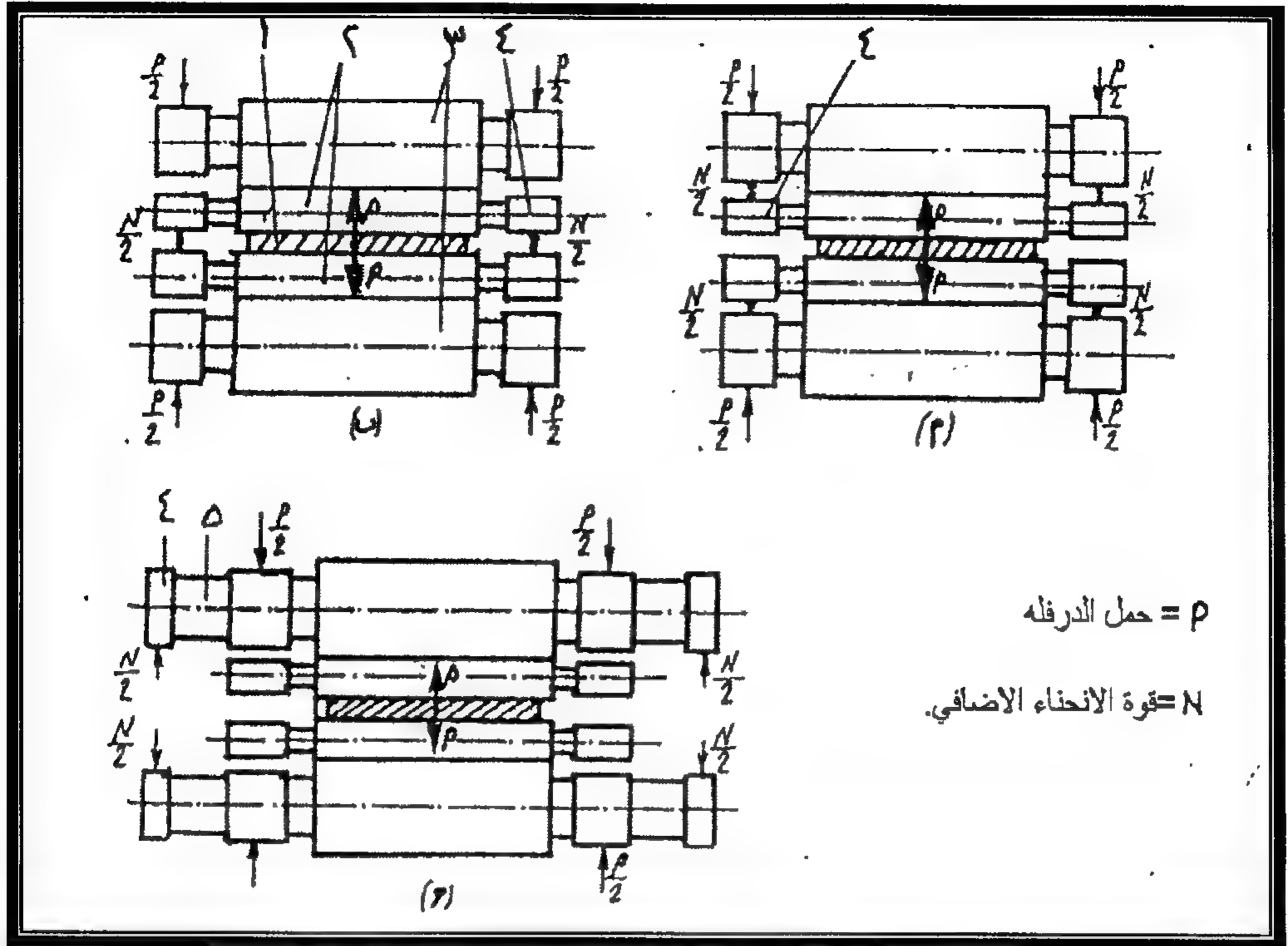
9- المضخة

10- قابض وفاصل التروس (Clutch)

ومن التطويرات التي حصلت في مكائن الدرفلة استخدام نظام الانحناء الاضافي للمدرفلات (Additional Roll Bending System) حيث يولد ضغط اضافي على المدرفلات في منطقة اسناد المدرفلات (اي في مرتكزات التحميل) وذلك لتقليل انحناء المدرفلات الناتج عن ضغط المعدن، تحت الدرفلة، عليها وخصوصا في وسطها. يسلط الضغط الاضافي على المدرفلات العاملة او على المساعدة او بين العاملة والمساعدة وكما في الشكل (5-14). ان الهدف من استخدام نظام الانحناء الاضافي هو للحصول على سمك متجانس للمعدن المدرفل على مدى مقطعه العرضي (عرض المعدن) وخاصة عند تشكيل المعادن ذات العرض الكبير نسبيا حيث قد يصل الى (1500 mm). ولكون ان اعظم انحناء يحصل للمدرفلات في منتصفها ولان شكل مقطع المنتج يمثل المسافة بين المدرفلات العاملة فان السمك سيكون غير متجانس اذا لم يستخدم نظام انحناء اضافي لغرض تجانس مقطع المعدن المنتج.

وبما ان غالبية المعدن المنتج في مكائن الدرفلة تكون بهيئة لفات (Coils) لذا يتم اضافة قوة اخرى على المعدن هي قوة الشد (tensile force) حيث يتم شد المعدن على الملف (Decoiler) والملف (Coiler). تعمل هذه القوة على زيادة ثبات المعدن على الملف او الملف وحتى المدرفلات من جهة كما تؤدي الى تقليل الحمل على المدرفلات من جهة اخرى. حيث يؤدي ذلك الى تجانس اكثر في سمك المنتج على طول مقطعه العرضي. يستخدم الزيت عادة في مكائن الدرفلة الباردة كسائل تبريد وتزييت في وقت واحد وخصوصا في مكائن الدرفلة للمنتجات النهائية ذات السمك القليل. بينما يستخدم في بعض الاحيان وخاصة في مكائن الدرفلة الاولى مستحلب سائل (Emulsion) مكون من زيت وماء وبنسبة زيت اكبر من النوع المستخدم في مكائن الدرفلة الحارة.





شكل (5-14)

طرائق استخدام نظام الأنحاء الإضافي و توزيع القوى

- أ- نظام الأنحاء بين المدرفلات العاملة و المساعدة.
- ب- نظام الأنحاء بين المدرفلات العاملة فقط.
- ج- نظام الأنحاء بين المدرفلات المساعدة.
- 1- المعدن تحت الدرفلة.
- 2- المدرفلات العاملة.
- 3- المدرفلات المساعدة.
- 4- جهاز تسليط ضغط الأنحاء الإضافي.
- 5- عنق المدرفلات الممتد لغرض آلية الأنحاء الإضافي.

## 5- 6 تكنولوجيا درفلة النحاس وسبائكه

( Rolling Technology of Cu & Cu-alloys)

يتم تحديد تكنولوجيا اي سبيكة اعتمادا على ابعادها وخواصها المطلوبة اضافة الى نوعها. وتعتمد الابعاد على اساس السمك والعرض والطول للصفائح او السمك والعرض للفة المعدن مع ابعاد اللفة من حيث القطر الخارجي والداخلي. واعتمادا على ذلك يتم اعداد المسلك التكنولوجي للعمليات التي ستمر بها السبيكة وابتداء من الدرفلة الحارة ثم الدرفلة الباردة اضافة الى مراحل التلدين البينية. ويحدد ذلك عوامل كثيرة لها علاقة بحمل الدرفلة الذي يجب ان يكون ضمن الحد المسموح به وحسب قدرة الماكينة وتحمل المعدن كل ذلك مبني على اساس اقتصادي، ومن تلك العوامل ما ياتي :

1- عدد تمريرات الدرفلة (Number of Passes).

2- نسبة التشكيل في كل تمريرة.

3- ضغط المعدن على المدرفلات.

4- سرعة الدرفلة.

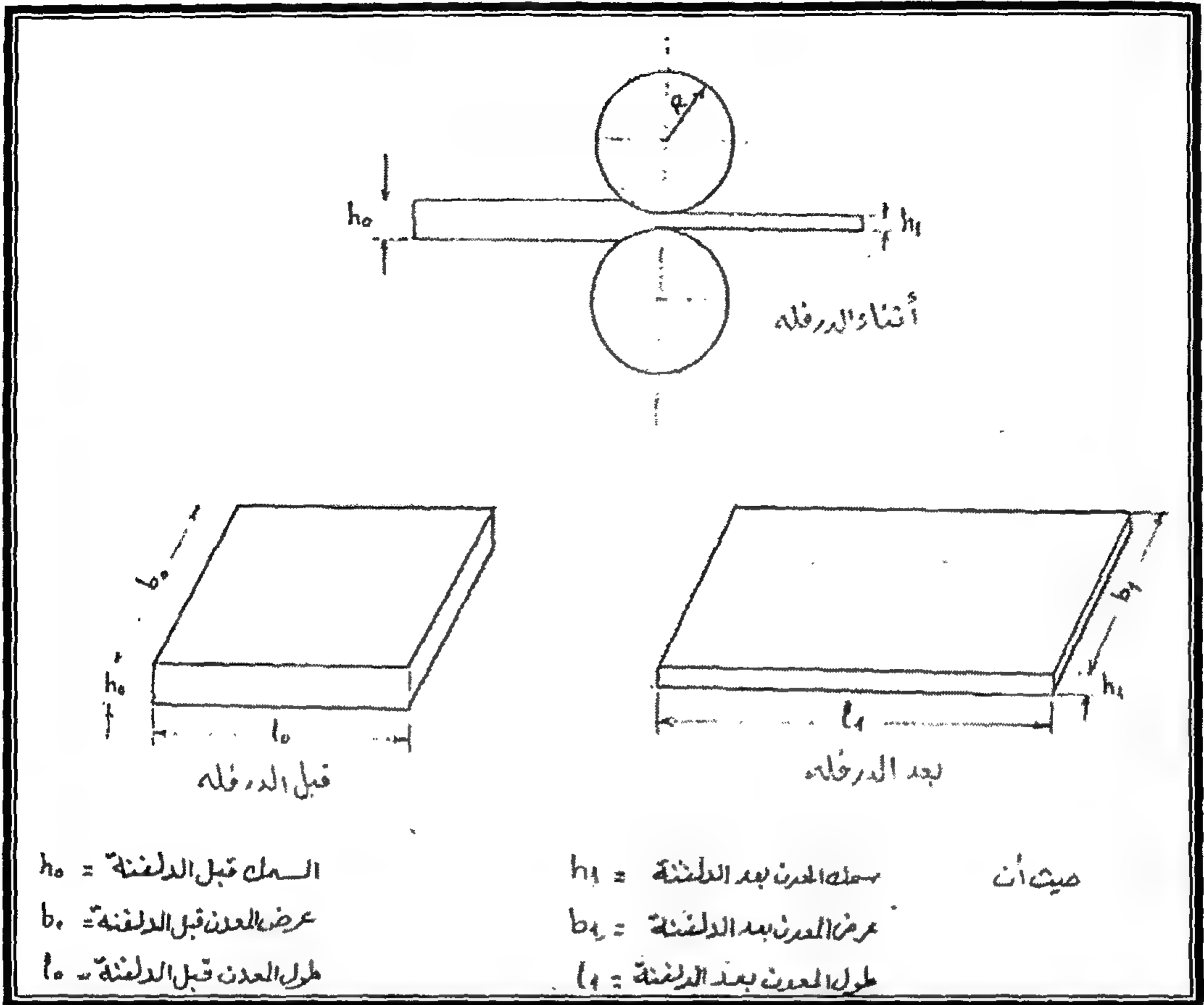
5- قوة الشد والشد الخلفي.

6- كفاءة سائل التبريد والتزييت.

وتختلف نسبة التشكيل من سبيكة لاخرى اعتماداً على قابلية المعدن للتشكيل (Deformability) ولدونته (Plasticity). فبينما يتحمل معدن النحاس النقي نسبة تشكيل عالية في التمريرة (Pass) الواحدة تصل الى (40%) ونسبة تشكيل كلية تصل الى (98%)، فاننا نجد ان لسبائك النحاس قابلية تشكيل اقل من ذلك بكثير. ففي سبيكة للبراص ( 30-70 ) تصل نسبة التشكيل الى حوالي (30%) في التمريرة الاولى عندما

يكون المعدن فيها ليناً (Soft) أي بعد عملية التلدين، وتقل هذه النسبة مع زيادة عدد التمريرات ويعود السبب في ذلك إلى خاصية التصليد الانفعالي (Strain hardening) حيث تزداد صلادة المعدن باطراد مع زيادة نسبة التشكيل البارد ومن ثم تقل قابليته على التشكيل، إضافة إلى أن إضافة الخارصين (Zn) إلى النحاس تقلل من قابلية تشكيكه. ففي سبيكة البراص 90-10 (CuZn10) المسماة بالتنباك (Tombac) تكون قابلية تشكيلها أعلى مما هي عليه في سبيكة البراص 70-30 (CuZn30).

وتؤخذ هذه الخاصية بنظر الاعتبار في الحسابات التكنولوجية للمعدن حيث أن زيادة نسبة التشكيل في التمريرة الأولى يؤدي إلى تقليل عدد التمريرات الكلية ويعني ذلك اختصاراً في زمن التشكيل وماله من مردودات اقتصادية. وبما أن عملية الدرفلة تؤدي إلى اختزال سمك المنتج على حساب الزيادة في طوله وفي عرضه بدرجة قليلة وذلك بفرض عدم تغير الحجم عند التغير الحاصل في الشكل. ولغرض حساب نسبة التشكيل والمطيلية من الجدير أن نشير، كما مر ذكره، إلى أن عرض المعدن تحت الدرفلة يعتبر ثابتاً بسبب استخدام المدرفلات الطرفية في عملية الدرفلة الحارة أولاً وكون الزيادة في عرض المعدن قليلة جداً في الدرفلة الباردة مقارنة مع الزيادة في الطول نتيجة للاحتكاك العرضي الكبير بين المعدن والمدرفلات، لذلك تهمل الزيادة في العرض عند الحسابات لذا تكون العلاقات كالآتي مع الإشارة إلى الشكل (5-15).



### الشكل (5-15)

مخطط يمثل المعدن في مراحله الثلاث قبل وأثناء وبعد الدرفلة.

نسبة الاختزال المثوية في السمك

$$\varepsilon_h = (\Delta h / h_0) 100$$

$$= [(h_0 - h_1) / h_0] 100$$

$$\varepsilon_h = [1 - (h_1 / h_0)] 100 \quad \text{----- (1)}$$

المطيلية (نسبة الاستطالة) ( $\varepsilon_l$ ) (Elongation)

$$\varepsilon_l = (\Delta l / l_0) 100$$

$$= [(l_1 - l_0) / l_0] 100$$

$$= [(l_1 / l_0) - 1] 100 \quad (2)$$

نسبة الزيادة في العرض ( $\varepsilon_b$ ) (Widening)

$$\varepsilon_b = (\Delta b / b_0) 100$$

$$= [(b_1 - b_0) / b_0] 100$$

$$= [(b_1 / b_0) - 1] 100 \quad (3)$$

نسبة الاختزال في مساحة المقطع العرضي (Reduction in cross sectional area)

$$\varepsilon_A = (\Delta A / A_0) 100$$

$$= [(A_0 - A_1) / A_0] 100$$

$$= [1 - (A_1 / A_0)] 100 \quad (4)$$

يعتبر الحجم ثابتا قبل وبعد التشكيل من الناحية العملية، وان كان هناك زيادة طفيفة في الحجم بعد التشكيل ناتجة عن زيادة كثافة الانخلاعات الا ان ذلك لا يؤثر على الحسابات العملية.

فحجم المعدن ( $V$ ) هو

$$V = h \cdot b \cdot l$$

وبما انه ليس هناك تغيير يذكر في حجم المعدن بعد الدرفلة فان

$$V_0 = V_1$$

$$h_0 b_0 l_0 = h_1 b_1 l_1$$

وفي حالة وجود زيادة في العرض اي ان  $b_0 < b_1$

$$h_0 / h_1 = (b_1 / b_0) (l_1 / l_0)$$

اما في حالة كون  $b_1 = b_0$  (عدم وجود تغيير في العرض) بسبب الاحتكاك العرضي بين المدرفلات والمعدن فان



$$h_o / h_1 = l_1 / l_o \quad \text{-----} (5)$$

فالمعادلات انفة الذكر يمكن استخدامها لحساب نسبة التشكيل والزيادة في الابعاد التي تحصل في المعدن بعد عملية الدرفلة ويمكن استخدامها عند اي مرحلة منها. اما حسابات حمل الدرفلة والمتغيرات المتعلقة به فانها معقدة ومطولة وتحتاج الى شرح مستفيض حيث تستخدم في الامور التصميمية للمكائن واجزائها وهذا خارج عن موضوع كتابنا.

### 5- 7 تأثير عمليات الدرفلة على الخواص الميكانيكية للمعدن

تحدث عملية الدرفلة وكاي عملية تشكيل أخرى تشوها في البنية البلورية للمعدن من جراء حركة الانخلاعات (Dislocations) والفجوات الذرية (Vacancies) ونتيجة لهذا التشوه في الشبكة البلورية للمعدن بسبب زيادة كثافة الانخلاعات (Dislocation Density) والعيوب النقطية (Point Defects) ونتيجة لذلك تزداد المقاومة لحركة الانخلاعات كلما زادت نسبة التشويه بسبب التفاعل (التقاطع) بين الانخلاعات نفسها من جهة وبينها وبين الشوائب والعيوب النقطية من جهة أخرى، كل ذلك يؤدي الى زيادة مقاومة الخضوع للمعدن (Yield Strength). وتختلف حالة المعدن وخواصه بعد عملية الدرفلة الحارة عن حالته بعد الدرفلة الباردة. ففي حالة الدرفلة الحارة والتي يدرفل المعدن فيها عند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة اعادة تبلوره، حيث تحدث عملية اعادة التبلور بعد خروج المعدن من بين المدرفلات مباشرة، ولذلك لا تتغير مقاومة خضوع المعدن بصورة ملحوظة لكونه يعود الى حالة مشابهة لحالة التلدين. اما في عملية الدرفلة الباردة حيث تجرى في درجة حرارة منخفضة نسبيا (اقل من درجة حرارة اعادة التبلور) فترتفع مقاومة الخضوع للمعدن لان بنيته في حالة مشوهة بسبب زيادة كثافة الانخلاعات و الفجوات الذرية، كما مر ذكره، ومن ثم زيادة الطاقة الداخلية التي خزنت

فيها، نتيجة للاجهادات التي تعرضت لها كما ان الحرارة الناتجة عن الاحتكاك الداخلي اثناء التشوه اللدن لبنية المعدن لا تكفي لاعادة تبلوره فيصبح المعدن في حالة صلدة، ويعتمد ذلك على مقدار التشوه (التشكيل) في المعدن. وتبين المنحنيات الموجودة في الفصل الثاني عشر تأثير نسبة التشكيل في خواص المعدن ولمختلف السبائك النحاسية.

## **الفصل السادس**

### **التخريم والسحب العميق**

( Punching and Deep Drawing )



## الفصل السادس

### التخريم والسحب العميق

( Punching and Deep Drawing )

#### المقدمة :

تعتبر عمليات التخريم والسحب العميق احدى عمليات التشكيل البارد (Cold Working) والتي تجرى على الصفائح والاشربة المعدنية باستخدام عدد مكونة من اداة التخريم (السنك) (Punch) والقالب (Die) بوساطة عملية الكبس باستخدام مكابس ميكانيكية او هيدرولية او بالهواء المضغوط (Pneumatic Press). تجرى عمليات السحب العميق على المعدن للحصول على اكواب او ما يسمى بالفنجان (cup) وغالبا ما تقطع القطعة من الصفيحة المعدنية بشكل قرص دائري (Disc) وخاصة في الصفائح المعدنية السميكة بوساطة مكابس منفصلة او ان يستخدم مكبس واحد وفي نفس العدة حيث تجرى العمليتان. والحالة الاخيرة تستخدم بصورة عامة عند كون صفائح المعدن ذات سمك قليل نسبيا (اقل من 3.5mm)، وفيما ياتي شرح لهذه العملية.

#### 6- 1 التخريم (Punching)

تمثل عملية التخريم احدى عمليات القطع التي تجرى للمعدن وباستخدام عدد قطع مغلقة متمثلة بقوالب التخريم (Punching dies) وباستخدام مكابس ميكانيكية او هيدرولية. وتقسم عملية التخريم الى ثلاث مراحل هي:

1- المرحلة الاولى والتي يكون فيها المعدن في مرحلة التشوه المرن (Elastic

deformation) نتيجة لوزن اداة التخريم على المعدن وقبيل مرحلة التشوه اللدن

(Plastic deformation)، والفرق بين التشوه المرن واللدن هو ان المعدن في

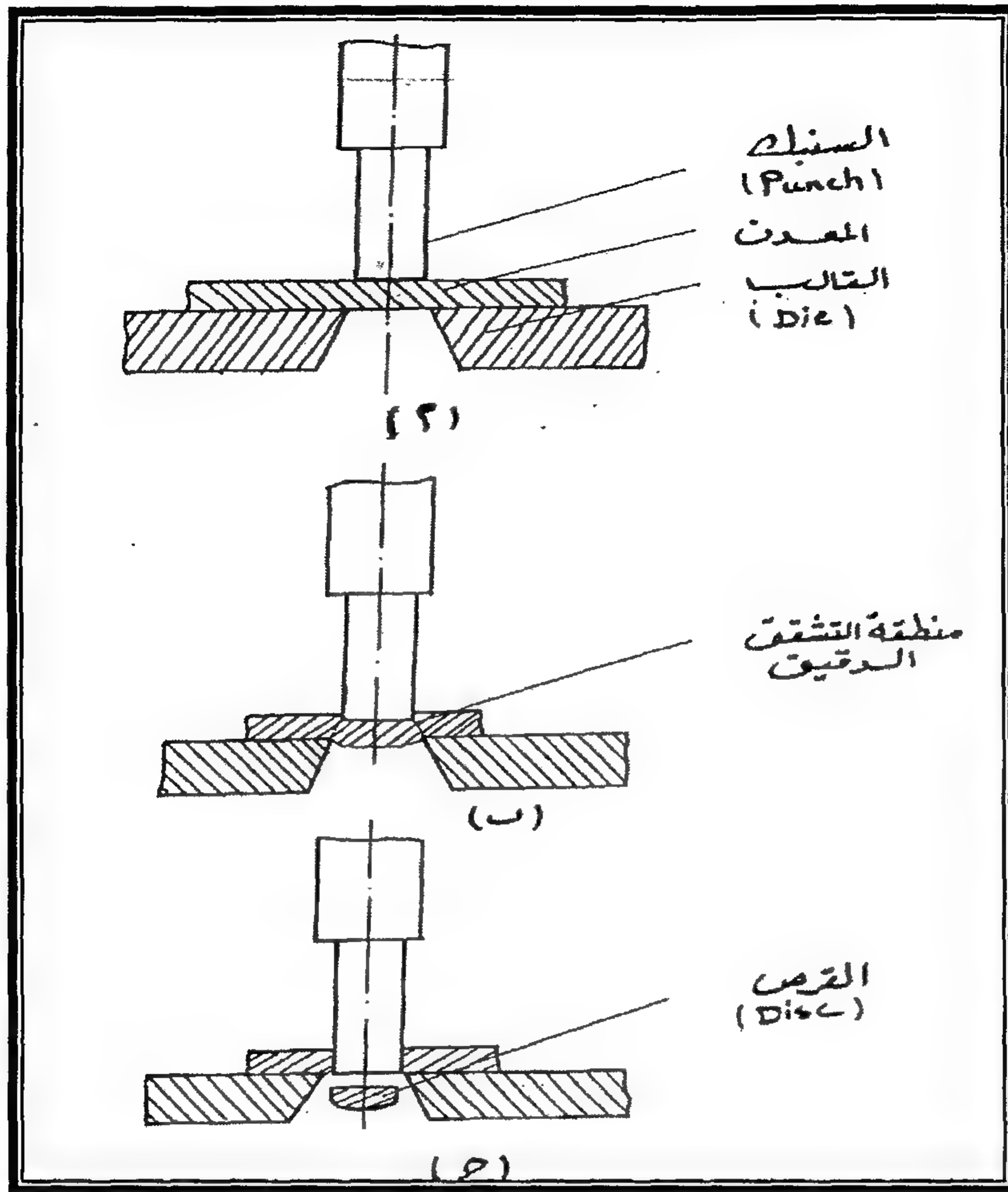
التشوه المرن يمكنه العودة الى شكله الاصلي عند ازالة القوة المسلطة عليه اي ان



الاجهاد المسلط على المعدن هو دون مقداراجهاد الخضوع (Yield Stress)، اما في حالة التشوه اللدن فان المعدن لايمكنه العودة الى شكله الاول بعد ازالة الاجهاد المسلط عليه ويكون اكبر من اجهاد الخضوع. ويبين الشكل (6-1 أ) المرحلة الاولى.

2- المرحلة الثانية والتي تبدأ مع زيادة الضغط على المعدن وانغماس اداة التخریم فيه مكونة تركزاً للاجهادات قرب حافة القالب (Die edge)، كما مبين في الشكل (6-1 ب). تبدأ منطقة التشوه اللدن بالتكوين بين حافة قالب القطع وحافة اداة التخریم (السنبك) والتي يبدأ عندها المعدن بالانقطاع نتيجة لتمدد بلورات المعدن خصوصاً عندما يكون الخلوص (Clearance) بين السنبك والقالب كبيراً نسبياً، والتي يبدأ عندها تمزق المعدن في تلك المنطقة.

3- المرحلة الثالثة هي مرحلة انفصال المعدن وبشكل قرص (Disc) بسبب التشقق الذي حصل في المعدن عند حافة القطع لاداة التخریم والقالب، وكما يبينه الشكل (6-1 ج) حيث يمثل المرحلة الاخيرة من مراحل عملية التخریم.



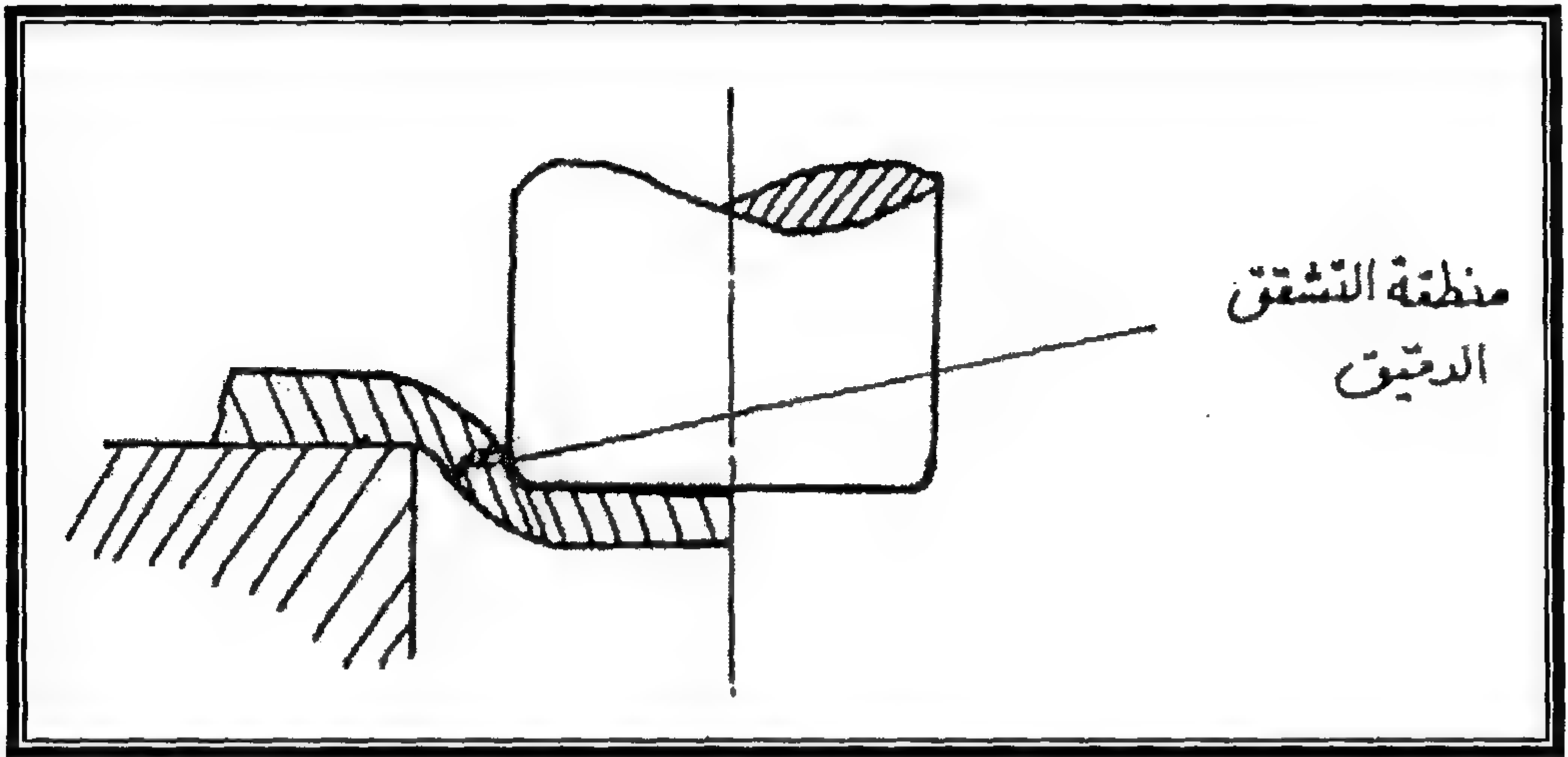
شكل (6 - 1)  
يبين مراحل التخريم.

## 6-1-1 تأثير الخلوص بين القالب واداة التخريم

للخلوص الموجود بين القالب واداة التخريم اثير كبير على حالة التمزق التي تحصل للمعدن في المنطقة المحددة بين حافتي قطع القالب واداة التخريم والتي لها تاثير على حافة المنتج النهائي وجودته ايضا. ويمكن ان يقسم الخلوص الى الانواع التالية:

- 1- الخلوص الكبير جدا.
- 2- الخلوص الصغير جدا.
- 3- الخلوص الامثل (المناسب).

بالنسبة للخلوص الكبير، فيحصل انحناء (Bending) للمعدن في منطقة الخلوص عند اجراء عملية الضغط بالمكبس، كما هو مبين في الشكل (2-6). ومن ثم يحصل التمزق في منطقة الانحناء وهذا يؤدي الى اختلاف قطري القرص العلوي والسفلي.



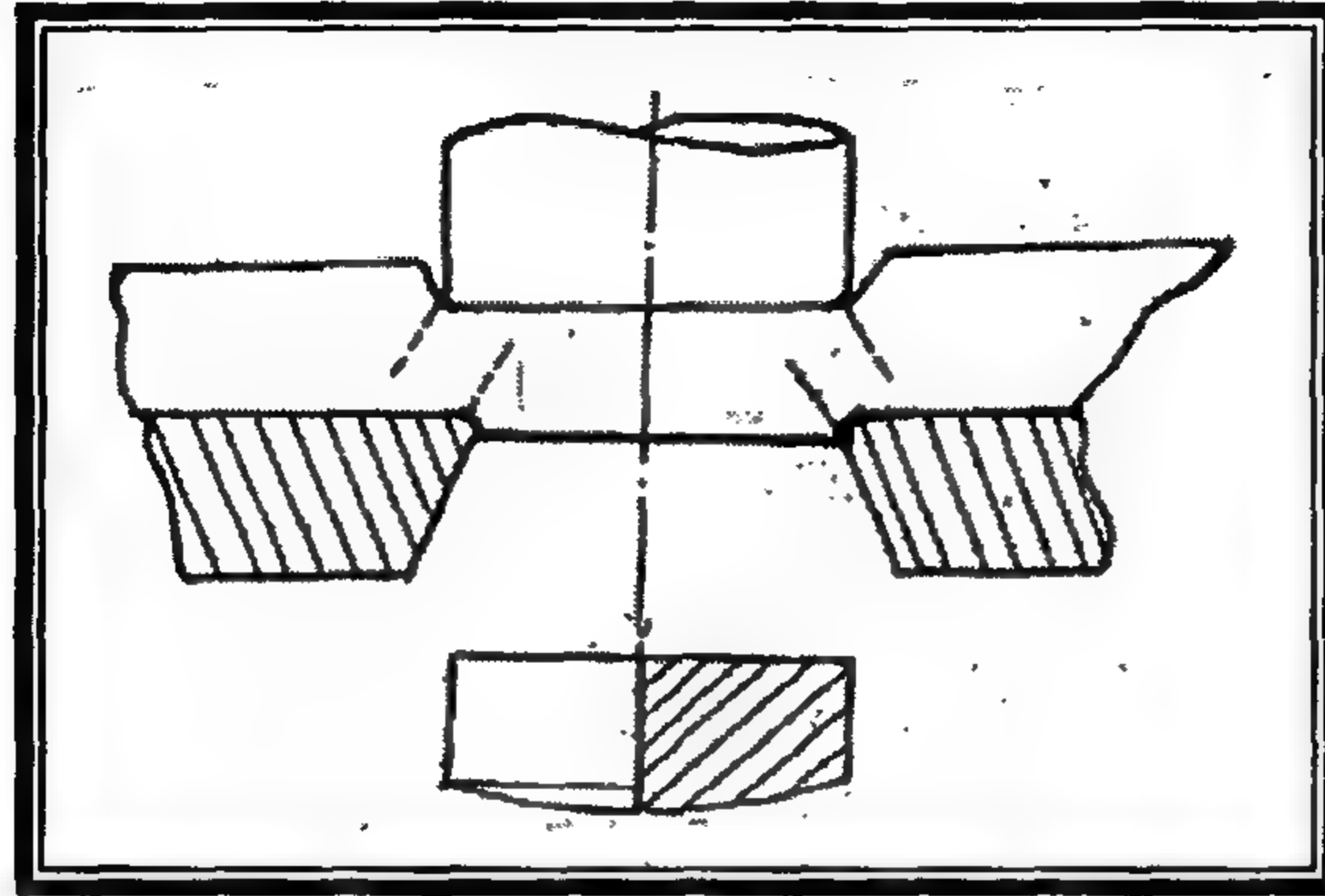
شكل (2 - 6)

#### التخريم بخلوص كبير جدا.

ويمكن ملاحظة هذه الظاهرة عندما يكون سمك المعدن المراد تخريمه قليل نسبيا. ويلاحظ الخلوص الكبير عندما يكون قطر القالب اكبر من قطر اداة التخريم بكثير او قد يحدث تدريجيا مع الاستخدام عندما يحدث بلي (Wear) في اداة التخريم او القالب او في كليهما معا.

اما في حالة كون الخلوص صغيرا والذي يلاحظ عند كون قطر اداة التخريم اكبر نسبيا من قطر القالب، اي حيث يكون فيها الخلوص اصغر من 1% من سمك المعدن تحت التخريم، ويكون شكل المعدن دائري الا انه يحتمل بقاء جزء من المعدن عند المنطقة

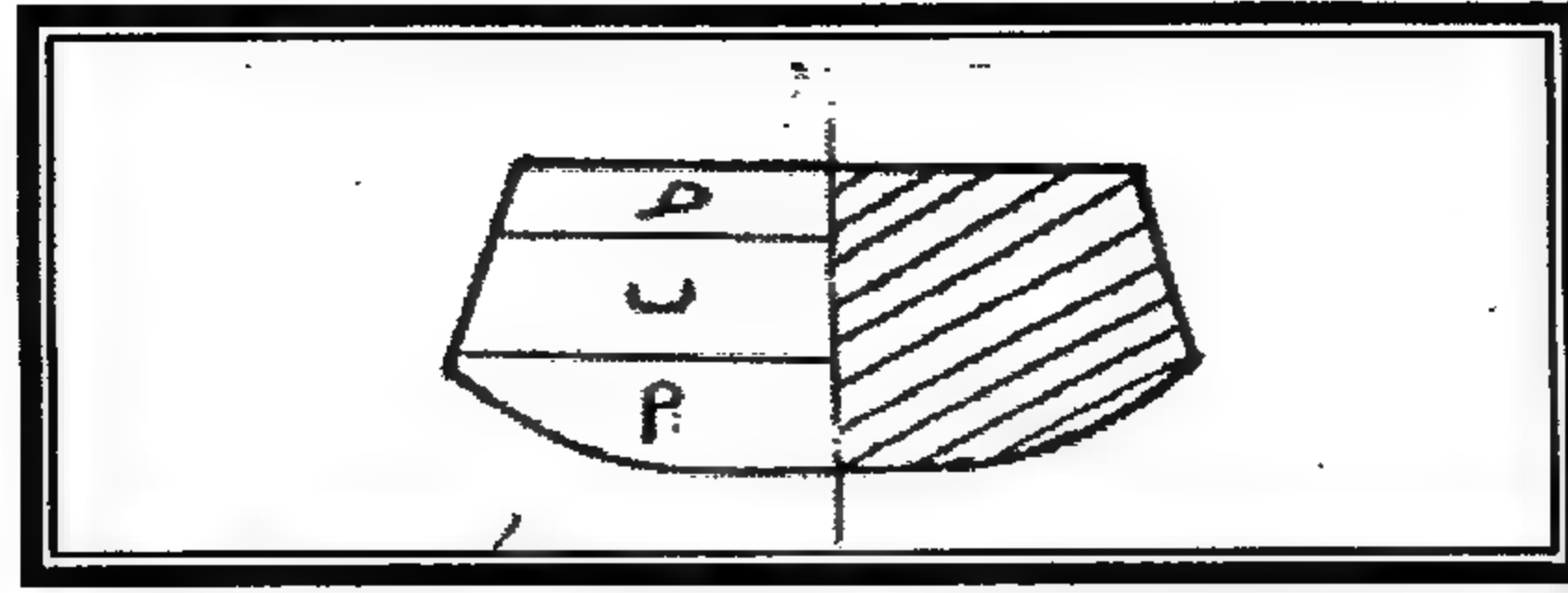
الوسطى من حافة القطع اثناء دفع القرص الناتج من القالب، ويحدث التمزق عند حافة اداة القطع (التخريم) والقالب بصورة متبادلة كما هو مبين في الشكل (3-6).



شكل (6 - 3)

التخريم بخلوص صغير جدا و يوضح مناطق التشقق الدقيق.

اما في حالة الخلوص الامثل (Optimal Gap) فيكون الفرق في قطري اداة التخريم والقالب قليل جدا، وهنا تحدث عملية التمزق عند حافة القالب اولا ومن ثم عند حافة اداة القطع، وتعطي هذه الحالة افضل منتج من حيث تجانس قطري القرص العلوي والسفلي اولاً وشكل حافة القطع ثانياً. ويمكن ملاحظة اقسام ثلاثة للجزء المخرم (القرص) في الشكل (4-6).



شكل (6 - 4)

### مناطق القرص المخرم.

المنطقة (أ) وتكون من جهة القالب وذات سطح محدب نحو الاسفل.  
المنطقة (ب) وتمثل منطقة القطع وتكون ملساء اسطوانية براقية.  
المنطقة (ج) وتمثل شكل القطع وتدعى بمنطقة التشظية وهي ذات سطح خشن بسبب كون اتجاه التمزق يتقدم من اداة القطع الى القالب عند خروج المنتج، و لا يحصل تمزق فيه، و لا يكون شكل المنتج اسطواناني.  
وفي حالة الخلوص الصغير تتكون منطقتان لامعتان وقد يحدث تمزق للمعدن بين الطبقة ب وج والتي قد تظهر بشكل نتوءات من المعدن عند دفع القرص الناتج. اما في حالة الخلوص الكبير فيحصل انحناء كبير للمنطقة (أ) مما يؤدي الى وجود فرق كبير بين القطرين الاعلى والاسفل للقرص.

### 6-1-2 تأثير سرعة التخریم (القطع)

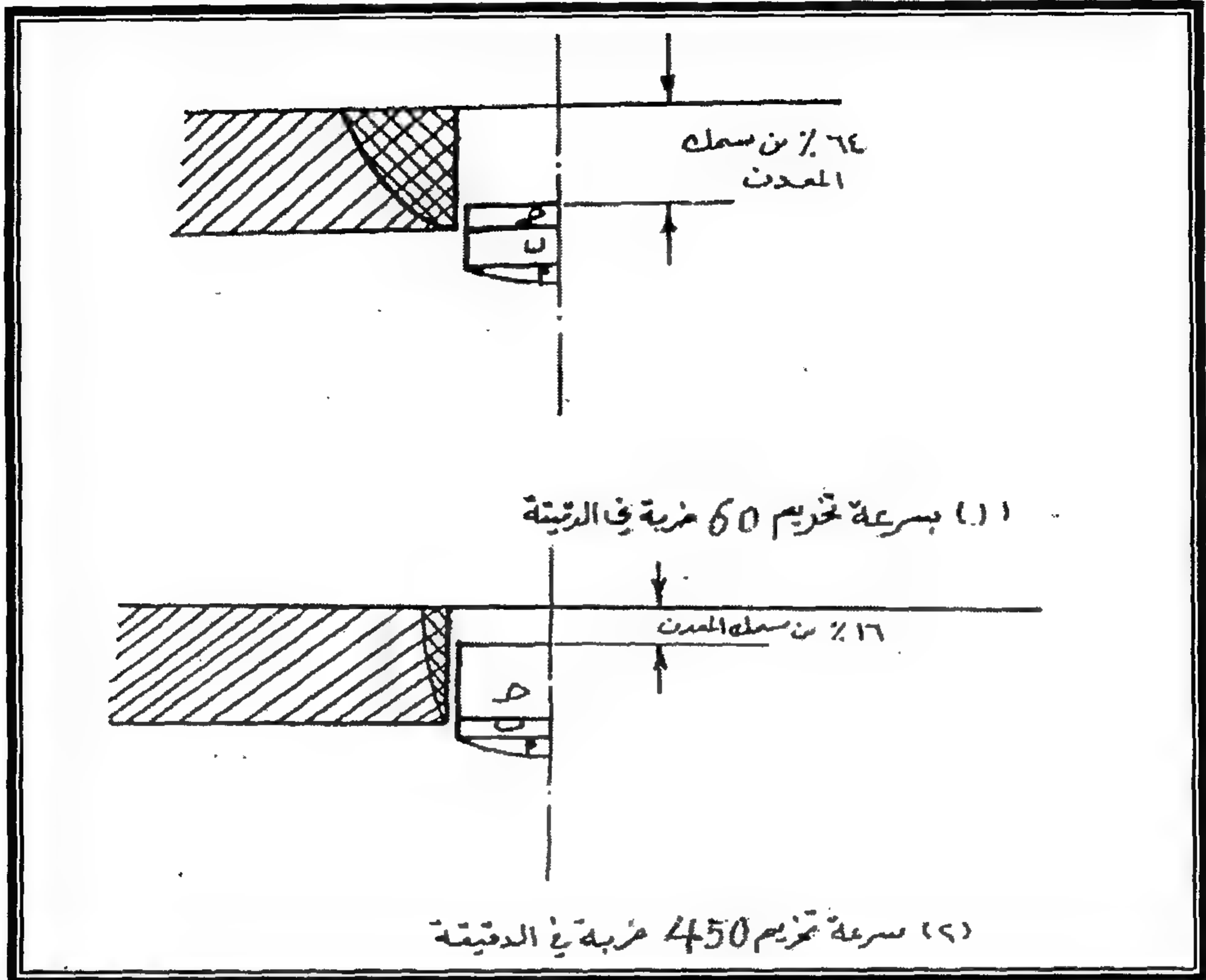
(Effect of punching speed)

تؤثر سرعة التخریم على نسبة سمك مناطق القرص المنتج (أ و ب و ج) اضافة الى منطقة انفصال القرص. فعلى سبيل المثال، للحصول على قرص من تخریم صفيحة معدنية بسمك (1.25mm) وباستخدام سرعة تخریم 60 ضربة في الدقيقة ثم 450 ضربة في الدقيقة فاننا نلاحظ، ومن خلال الشكل (6-5) الاتي:

- 1- يكون حد القالب في حالة السرعة العالية اقل اهمية لعملية الانفصال اعتمادا على حقيقة كون حدوث عملية القص بارتفاع صغير، كما في الشكل (6-5).



2- عند السرعة العالية فان حالة التمزق الحاصلة بسبب التشقق المجهري (Micro-Cracking) عند حافة القالب تحدث بسهولة.



شكل (6 - 5)

حالة التخریم باستخدام سرع تخريم مختلفة.

- 3- عند السرعة الواطئة فان تحدب السطح السفلي للقرص يكون كبيرا اما عند السرعة العالية فان السطح الاسفل يكون موازيا للسطح العلوي تقريبا.
- 4- زيادة صلادة سطحي القرص عند السرعات الواطئة حيث يزداد عمق المنطقة المصلدة في حين تقل المنطقة المصلدة عند السرعات العالية.

تؤثر سرعة القطع على القوة اللازمة (Punching Force) له حيث تزداد كلما زادت سرعة التخريم (القطع)، وبالتالي على زيادة القدرة المجهزة. وإلى جانب ذلك فإن قوة التخريم تزداد كلما قل الخلوص بين أداة التخريم والقالب. ويتم مراعاة قيمة أفضل خلوص اعتماداً على القوة المطلوب استخدامها وكذلك جودة سطح القطع. وللحصول على أفضل سماعات للمنتج وإطول عمر للعدة تستخدم أقل قوة ممكنة.

### 6-1-3 طرائق التخريم (Punching Methods)

#### أ- التخريم بدون خلوص (Punching Without Gap)

ويحدث عندما يكون قطر أداة التخريم مساوية لقطر القالب وضمن السماعات المحددة. وتكون اتجاهات التشققات المجهرية، بسبب التشوه اللدن للمعدن، متداخلة. يتم الضغط على المعدن حيث يبدأ المعدن بالنفوذ من القالب بسبب التشوه اللدن الذي يحصل للمعدن إلى أن يتم القص، عندها ينتهي هذا التشوه ويتم إخراج المعدن من القالب باستمرار الضغط عليه، ويكون سطح القطع جيداً والجزء (أ) من القرص أكبر من الجزء (ج)، وتستخدم هذه الطريقة للجزء الصغيرة.

#### ب- التخريم بالخلوص السالب (Punching With Negative Gap)

ويكون فيه قطر أداة التخريم أكبر من قطر القالب، ولا تدخل الأداة في القالب طبعاً. ويتم دفع القرص بواسطة القرص الذي يليه حيث تقترب أداة القطع (التخريم) من القالب بمسافة (0.2- 0.5 mm). وتستخدم طريقة التخريم هذه لسبائك البراص والالمنيوم ولسمك يتراوح بين (0.5- 5.5 mm) حيث تتطلب العملية قوة تخريم أكبر كلما زاد سمك المعدن.

#### ج- التخريم باستخدام الضغط المعاكس :

#### Punching with Pressing Down and Counter Pressure

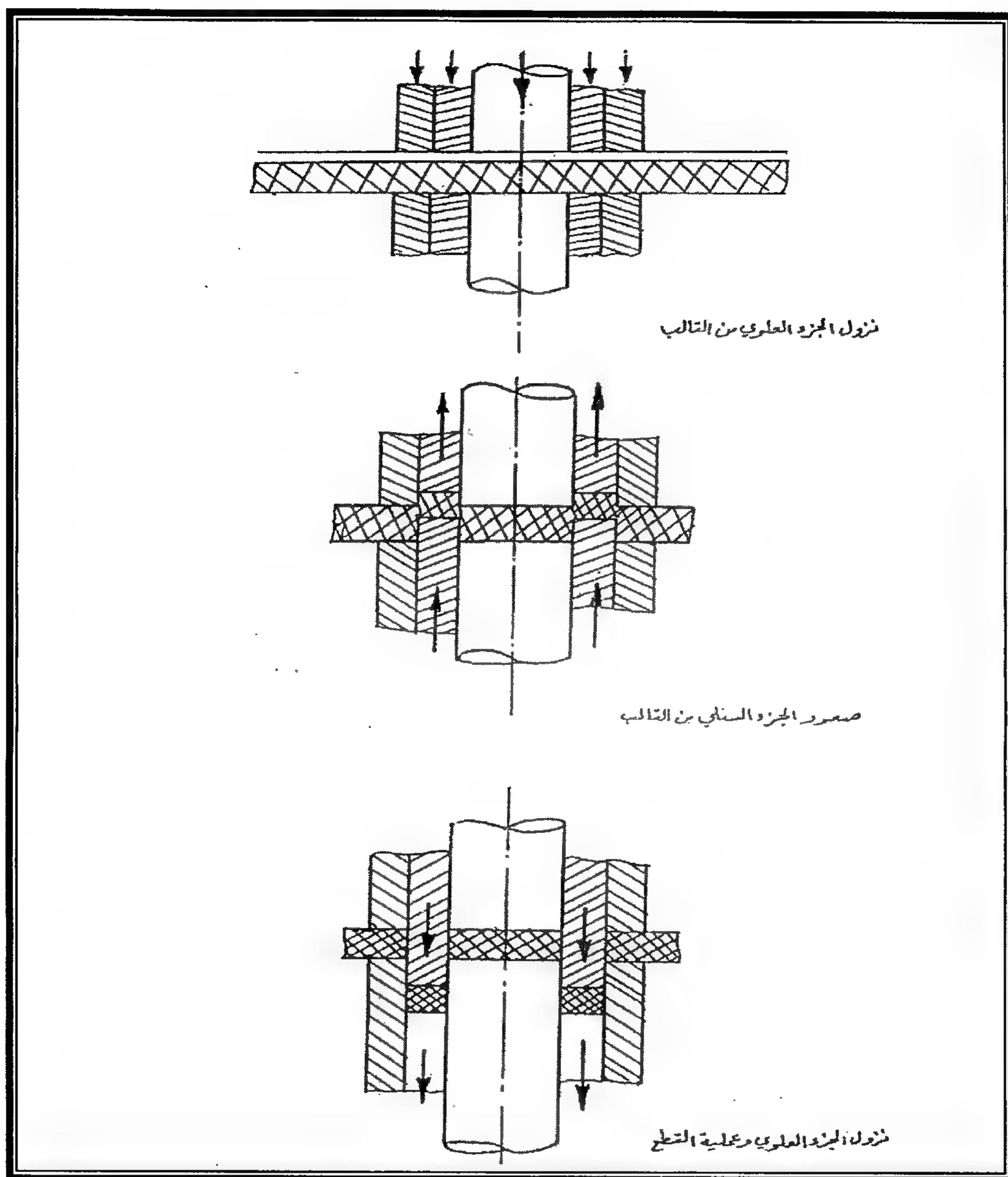
وتعتبر أحدث طريقة من طرائق التخريم حيث تعطي نتائج أفضل من الطرائق الأخرى. وفيها يحصل توزيع للاجهادات في الاتجاهات الثلاثة بسبب إجهادات الضغط

حيث لا يوجد اجهاد شد على المعدن. وعليه فلا تتكون تشققات دقيقة في المنتج ويكون سطح القطع افضل ويدون تحذب، وتقل في هذه الطريقة لدونة المعدن. اما مساويء هذه الطريقة فانها تتطلب قوة عالية وكلفة عالية للمعدات اضافة الى زيادة الاجهادات المسلطة على المعدن مما تؤدي الى تجاوز اجهاد الخضوع للمعدن بثلاثة الى اربعة اضعاف.

#### د- التخريم بطريقة القطع العكسي

(Punching Die With Backing Reverse Cutting)

وتتم هذه الطريقة بحركة القالب ليقوم بعملية قطع المعدن وتبدأ بعد نزول الجزء العلوي من القالب على المعدن، فيتحرك الجزء الاسفل من القالب واداة القطع نحو الاعلى مؤديا الى قطع المعدن بمسافة ربع سمك المعدن، بعدها تبدأ حركة الجزء العلوي للقالب الى الاسفل بمسافة مقدارها مرة ونصف (1.5) من سمك المعدن فيحصل القطع النهائي للقرص. تعطي هذه العملية جودة افضل للمنتج ومن دون استخدام مكابس ثلاثية الفاعلية حيث تكون غالية الثمن. تبدأ بعدها عملية التجليخ وذلك بقطع زيادات المعدن بوساطة الضغط للاسفل باستخدام اداة قطع اكبر قطرا من القالب اي بطريقة الخلوص السالب. ويمكن ايضاح هذه الطريقة في الشكل (6-6) ولحالي حركة الجزء العلوي والسفلي اضافة لعملية القطع.



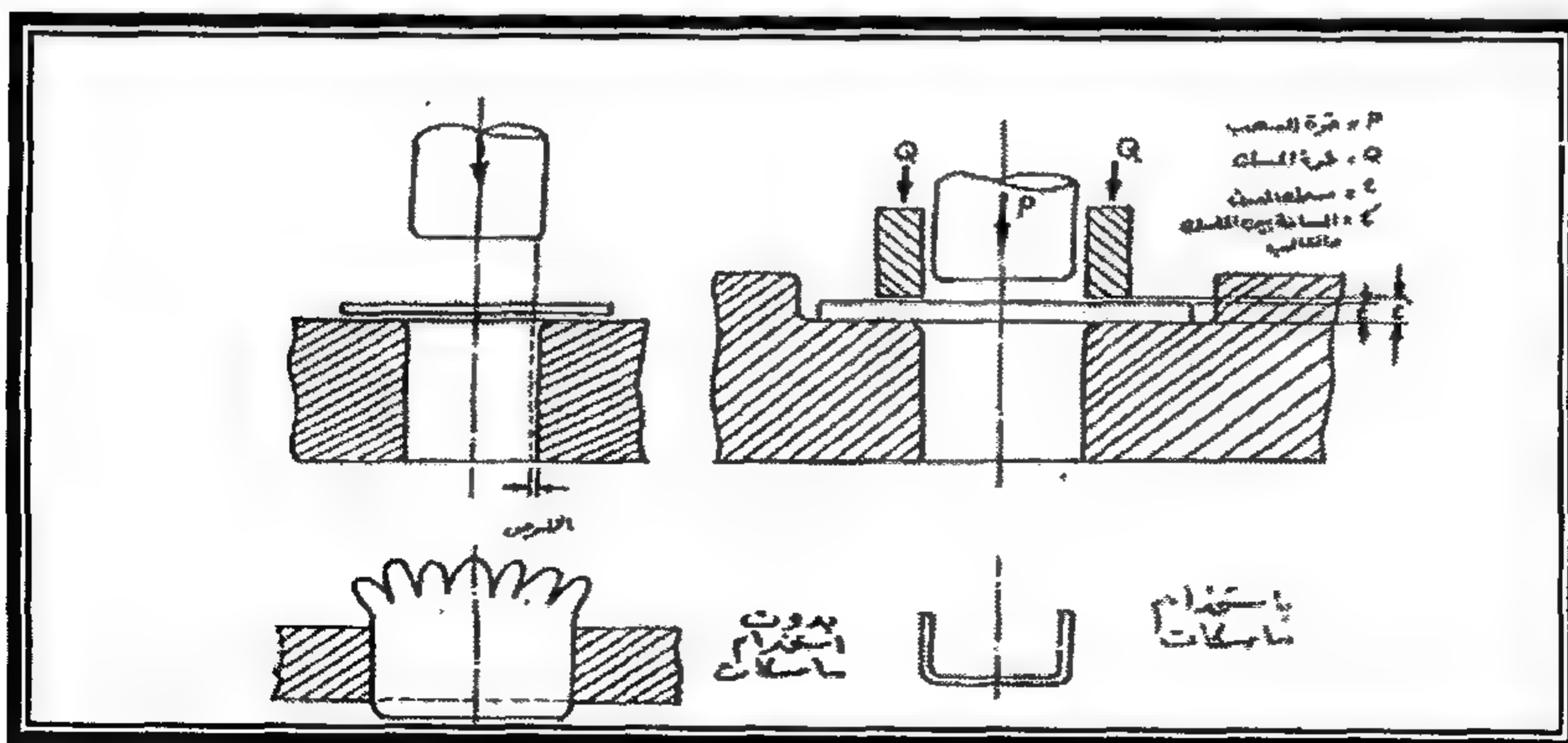
شكل ( 6 - 6 )

عملية التخريم بطريقة القطع العكسي.

## 6- 2 السحب العميق ( Deep Drawing )

وهي احدى عمليات التشكيل البارد التي تجرى على المعدن والذي غالبا ما يكون على شكل قرص دائري قبل عملية السحب او ان يدخل المعدن على شكل شريط حيث يتم تحديد القرص قبل عملية السحب العميق والتي تتم بنفس العدة المكونة من اداة الدفع والقالب. وقد تجرى عدة عمليات سحب على الماكينة الواحدة. تتخللها عملية تلدين للاكواب (Cups) تحت السحب، كما في سبائك النحاس او بدون تلدين كما في معدن النحاس لمطيليته العالية (High Ductility).

وتختلف عدة السحب العميق هذه عن عدة التخريم التي تتكون ايضا من اداة الدفع والقالب في كون عدد التخريم تكون ذات حد قاطع وخلوص صغير جدا بحيث تقوم بقطع المعدن، بينما تكون اداة الدفع (السنبك) في عدد السحب العميق ذات حافات منحنية (Rounded) وخلوص كبير جدا لضمان تشكيل المعدن بين اداة الدفع والقالب والتي تجرى فيها عملية التشويه اللدن للمعدن ومن ثم يحصل اختزال لسبك المعدن تحت الانتاج (السحب). وفي حالة اجراء عملية السحب العميق على صفائح معدنية خفيفة فعندها تستخدم مع قالب السحب ماسكات (Holders) وذلك لمنع تكون الاقراط (Earrings) في الاكواب المنتجة، ويوضح الشكل (6-7) هذه التقنية.



شكل ( 6 - 7 )

عملية السحب العميق و تكون الأقراط عند عدم استخدام الماسكات.



## 6-2-1 أنواع الماسكات المستخدمة (Types of Holders)

هناك نوعان من الماسكات المستخدمة في تثبيت المعدن على القالب حيث تثبت مع العدة المستخدمة وهذين النوعين هما:-

1- ماسكات ثابتة توضع على مسافة من القالب مساوية او اكبر قليلا من سمك المعدن كما في الشكل (6-7).

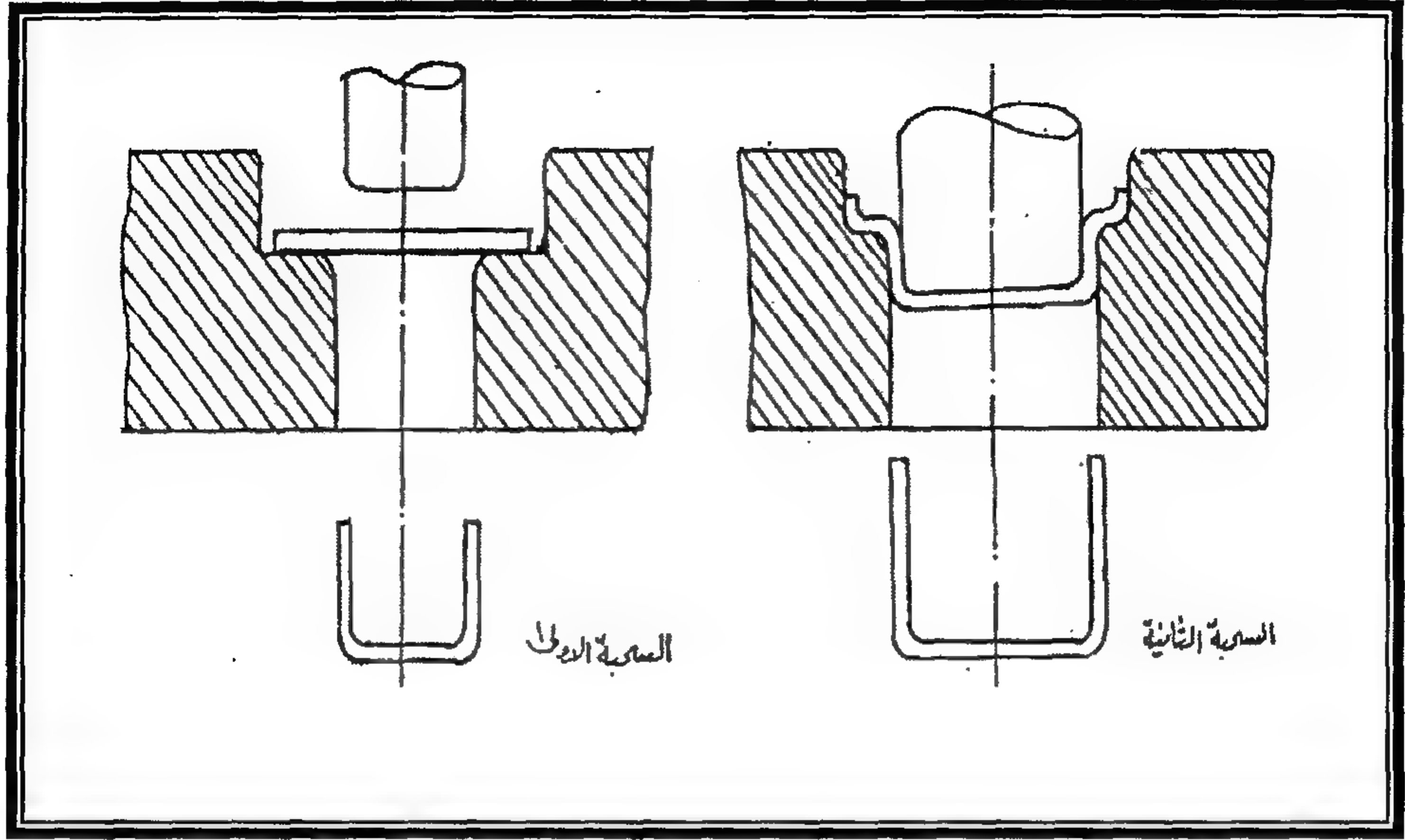
2- النوع الثاني هو النوع المتحرك ويقوم بالضغط على المعدن بوساطة لوالب او عن طريق الضغط بالهواء او باستخدام وسادة مطاطية.

ولن تظهر حالة تكون الاقراط (Earrings)، عند استخدام ضغط قليل على المعدن، الا بشكل قليل والتي تتكون بسبب تباين خواص المعدن (Anisotropy). وتباين الخواص هذا يعني اختلاف قيم الخواص الميكانيكية عند قياسها باتجاهات مختلفة بالنسبة لاتجاه الدرفلة على سبيل المثال. اما في حالة استخدام ضغط كبير في مسك المعدن فان الفشل (التمزق) سيحصل في قعر الفنجان (Cup).

## 6-2-2 عملية السحب العميق (Deep Drawing Process)

أ- عملية السحب بدون استخدام ماسكات:-

وتجرى عملية السحب بعد ادخال المعدن في القالب حيث تستخدم محددات لحصر المعدن وتمركزه على فتحة القالب للحصول على اكواب متجانسة في الطول وذلك من خلال حصر المعدن وتجرى عادة عدة عمليات للسحب في العدة الواحدة وخاصة عندما يكون المعدن قليل السمك او تجرى باستخدام مكائن وعدة اخرى ويمكن ايضا عملية السحب واعادة السحب (السحبة الثانية) للاكواب في الشكل (6-8).



شكل (6 - 8)

عملية السحب العميق بدون ماسكات.

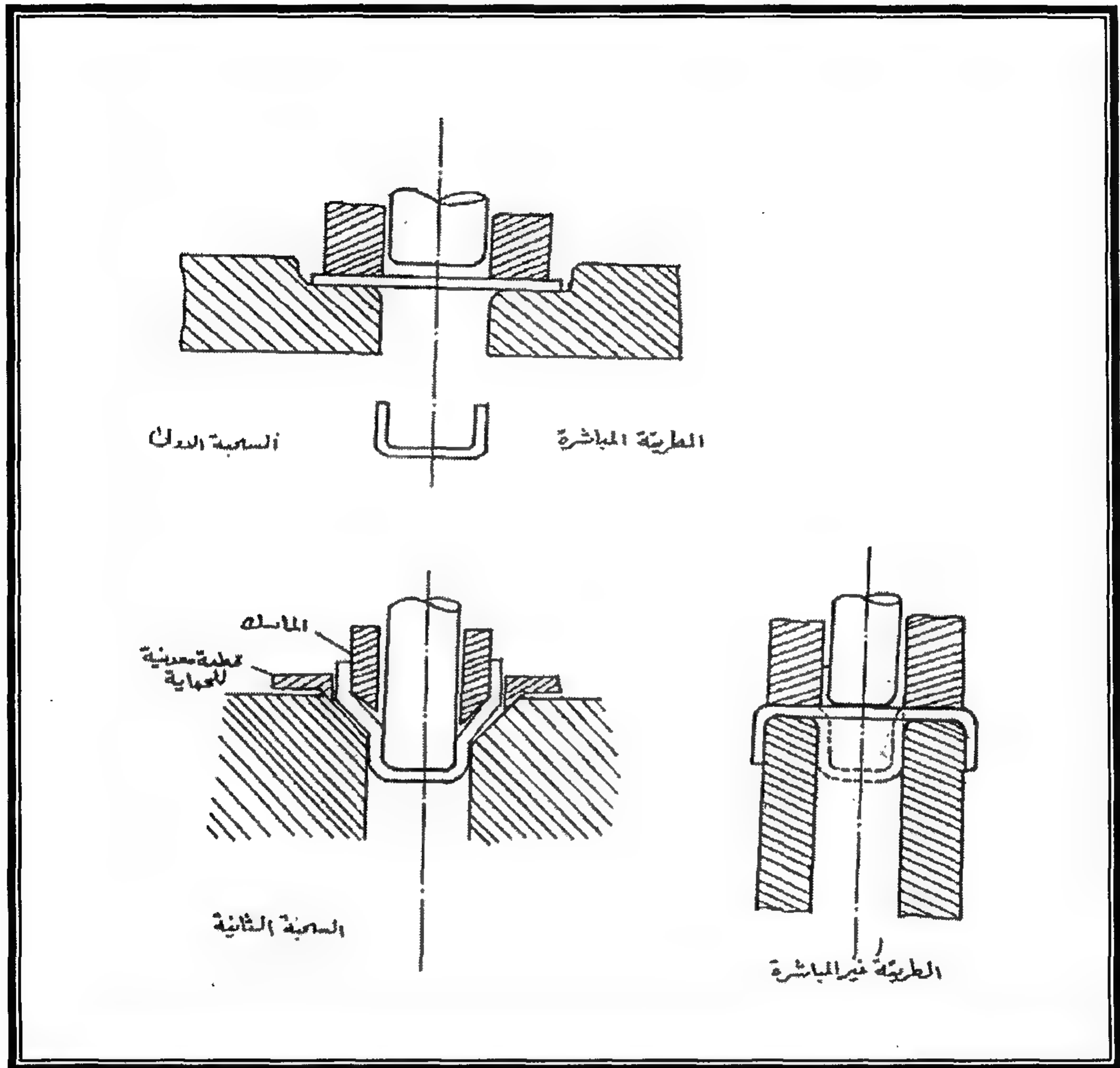
ب- السحب باستخدام الماسكات:

وتتم عملية السحب بتشكيل الاكواب عن طريق مسك المعدن باحدى طرائق المسك التي تم التطرق اليها سابقا حيث تجرى بعدئذ عملية اعادة السحب بالطريقة المباشرة اضافة الى استخدام ماسكات اخرى مع العدة لتجرى عملية السحب الثانية، او بالطريقة غير المباشرة حيث يبقى المعدن مثبتا دون انفصال الفنجان عنه وذلك لاجراء عمليات السحب الاخرى كما في الشكل (6-9).

6- 2- 3 القوة اللازمة في عمليات السحب العميق:-

تحدد القوة اللازمة في عمليات السحب العميق واعادة السحب عوامل عديدة تعتمد على نوع المعدن المراد تشكيله ومعامل السحب (Drawing Coefficient) وسائل

التبريد المستخدم وغير ذلك من العوامل. ويمكن الإشارة الى تأثير بعض من هذه العوامل كما يأتي:-

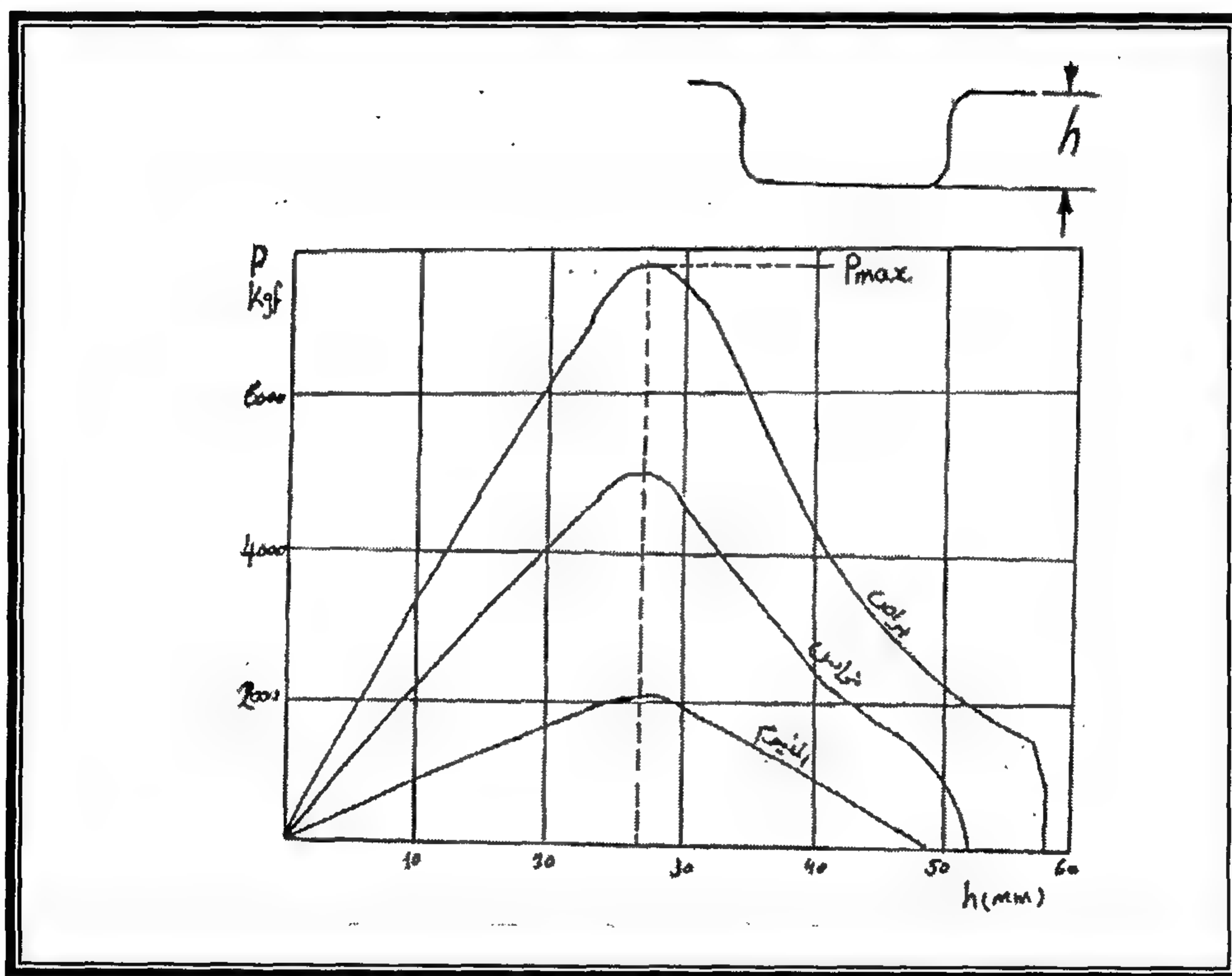


شكل (6 - 9)

يبين عملية السحب العميق باستخدام ماسكات.

## أ- المعدن المراد تشكيله:-

تختلف القوة المطلوبة لعملية السحب باختلاف المعدن اي باختلاف خواصه حيث كلما ازدادت مقاومة شدة (Tensile Strength) كلما زادت القوة اللازمة لتشكيله ولا فرق هنا بين تغير خواص المعدن نفسه، كأن يكون في حالة ملدنة مرة ومصلدة في مرة ثانية، او تشكيل معدن اخر. ويمكن ايضاح العلاقة بين القوة اللازمة وعمق السحب ولعدة معادن في الشكل (6-10).



شكل (6-10)

العلاقة بين القوة و عمق السحب لمعادن مختلفة، حيث تمثل القمة أعلى قوة.

### معامل السحب:

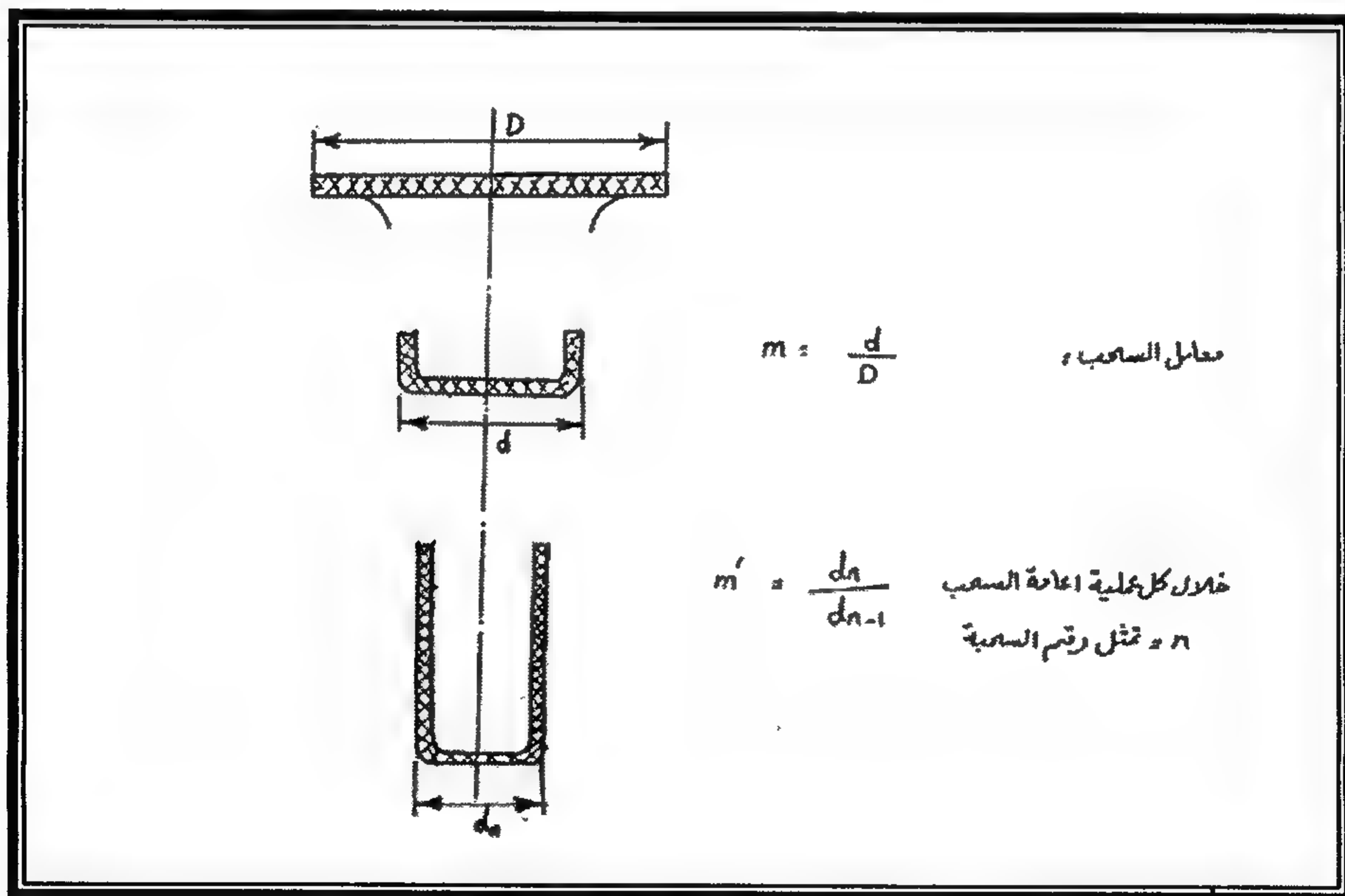
وهو يمثل النسبة بين قطر الفنجان المطلوب وقطر القرص المستخدم، حيث كلما كان معامل السحب (m) صغيرا (الشكل 6-11) كلما كانت العملية اقتصادية أكثر من حيث تقليل عدد السحبات التي يلزم إجرائها. ويحسب معامل السحب في حالة إعادة السحب (Redrawing) على الفنجان بنفس الطريقة للعلاقة بين قطر الفنجان بعد إعادة السحب وقطره قبل الإعادة.

### ج- سمك المعدن:

تزداد القوة كلما زاد سمك المعدن المستخدم لعملية السحب العميق، وكذلك تزداد كلما زاد الفرق بين السمك المطلوب للفنجان المنتج وسمك القرص.

### د- قطر حافة القالب:

حيث تزداد القوة مع صغر حافة القالب (عندما تكون الحافة قريبة من الحافة الحادة).



الشكل (6-11)

كيفية حساب معامل السحب.



هـ- سرعة السحب (التشغيل):

تزداد القوة اللازمة مع زيادة سرعة السحب.

و- معامل الاحتكاك:

كلما قلت كفاءة التزيت فسيزداد الاحتكاك ومن ثم سيكون مقدار معامل الاحتكاك اكبر مما يتطلب زيادة في قوة السحب.

ز- الخلوص (Clearance) :

وتتغير القوة بتغير الخلوص بين القالب واداة الدفع (السنبك) حيث تقل القوة بزيادة الخلوص.

ح- ضغط الماسكات:

تزداد القوة اللازمة للسحب كلما زاد ضغط الماسكات.



## **الفصل السابع**

### **المعالجات ( المعاملات ) الحرارية للنحاس وسبائكه**

Heat Treatments of Copper and Its Alloys



## الفصل السابع

### المعالجات (المعاملات) الحرارية للنحاس وسبائكها

Heat Treatments of Copper and Its Alloys

#### 7- 1 المقدمة:

قبل الدخول في كيفية وهدف المعالجات الحرارية لا بد من التطرق الى اليات التصليد بصورة عامة. يمكن تقسيم اليات التصليد للمعادن والسبائك الى اربعة اليات وهي:-

#### 7- 1- 1 التصليد الانفعالي

(Strain Hardening or Work Hardening)

ولزيادة صلادة او مقاومة (Strength) المعدن يتم تشكيل او تشويه المعدن على البارد (Cold Deformation) باحدى طرائق التشكيل كالشد، والدرفلة، و السحب العميق وغيرها من عمليات التصنيع الباردة. ومن مساويء هذه الطريقة نقصان مطيلية (Ductility) المعدن. ولو اريد اعادتها الى وضعها السابق يلزم تلدين المعدن عند درجة حرارة ملائمة تعتمد على درجة انصهاره ومقدار الشوائب التي يحتويها.

#### 7- 1- 2 التصليد بتنعيم (تصغير) المقاس الحبيبي (البلوري)

(Grain Refinement Hardening)

تناسب صلادة المعدن او مقاومته مع المقاس الحبيبي حيث تزداد الصلادة كلما صغر المقاس الحبيبي (Grain Size) وسناتي على تفصيل ذلك لاحقا.

#### 7- 1- 3 التصليد بالمحلول الجامد

(Solid Solution Hardening)

تزداد صلادة السبيكة كلما زادت نسبة العنصر السبيكي (Alloying Element) الذائب في المحلول الجامد. وذلك لان ذرات العنصر المذاب تكون ذات حجم يختلف عن



ذرات المعدن الاساس ومن ثم سينشأ انفعال مرن (Elastic Strain) في الشبكة البلورية (Crystal Lattice) وعلى المستوى الذري بالطبع. ونتيجة لذلك سوف يعرقل هذا الانفعال عملية انزلاق الانخلاعات (Dislocation Slipping) وعليه سوف تزداد مقاومة المعدن (السيكة) الاساس. كما هو الحال في البراص-الفا ( $\alpha$ -Brass) وهو سبيكة من النحاس كمعدن اساس مع الخارصين كمعدن سبيكي، كما مر ذكره.

ويمكن ان يتواجد الخارصين في النحاس مكونا محلولاً جامداً معه والى حوالي 33% عند درجة حرارة الغرفة. ونتيجة لذلك تزداد مقاومة السبيكة كلما زادت نسبة الخارصين المذابة فيها. وقد تزداد المطيلية (Ductility) مع نسبة عنصر السبك كما في حالة الخارصين وقد لا تتأثر او تقل في حالة عناصر السبك الاخرى عندما تكون في المحلول الجامد.

7-1-4 التصليد بالتريسيب (Precipitation Hardening) او التصليد بالتعتيق (Age Hardening)

ويمكن فيه زيادة صلادة السبيكة التي تكون محلولاً جامداً فوق الاشباع (Super-Saturated Solid Solution) عند اخمادها (Quenching) من درجة حرارة عالية نسبياً الى درجة حرارة الغرفة. وتسمى هذه المعالجة الحرارية بالمعالجة الحرارية المحلولية (Solution Heat Treatment). فعند تسخينها عند درجة حرارة واطئة نسبياً، على سبيل المثال، حوالي  $200^{\circ}\text{C}$  وحسب نوع السبيكة فستترسب دقائق صغيرة جداً (من الذرات الخارجة من المحلول الجامد) تكون في اغلب الاحيان مركب كيميائي معدني (Inter Metallic Chemical Compound) حيث تكون صلادة هذه الدقائق أعلى من السبيكة الأساس (Matrix) وتكون منتشرة في السبيكة بصورة متجانسة و كثيفة نسبياً مما يجعلها فعالة في اعاقه حركة الانخلاعات (Dislocations) اي تجعل السبيكة اكثر صلادة مما كانت عليه قبل التعتيق (Aging). وقد يكون التعتيق طبيعياً اي يحدث عند ترك سبيكة المحلول الجامد فوق الاشباع في درجة حرارة الغرفة ولكن لمدة اطول بكثير مما يلزم عند التعتيق صناعياً (Artificial Aging) في درجة حرارة اعلى من درجة حرارة الغرفة

وحسب نوع السبيكة. والسبب في تطلب السبيكة مدة اطول عند تعتيقها في درجة حرارة الغرفة هي ان عملية الترسيب تتم بعملية الانتشار (Diffusion) وهذه العملية تعتمد على عاملين هما الزمن ودرجة الحرارة، فكلما زادت درجة الحرارة زادت سرعة الانتشار وقل زمن الترسيب، واذا بقت السبيكة لمدة طويلة نسبيا عند درجة حرارة عالية اثناء عملية التعتيق فسيحصل نمو لهذه الدقائق المترسبة ويكبر حجمها ومن ثم يقل تأثيرها في اعاقه حركة الانخلاعات. وبالنسبة لتخفيض الصلادة مرة اخرى وتسمى هذه الحالة فوق التعتيق (Over Aging) وهي حالة غير مرغوب بها غالبا. وسنعرّج على بعض هذه الاليات كل حسب موقعه فيما ياتي.

## 7- 2 اهداف المعالجة الحرارية

يعالج النحاس وسبائكه لتحقيق احد الاهداف الاتية:

### ا- المجانسة (Homogenization):

وهي عملية ازالة او تخلص من العزل (Segregation) او الانفصال للمركبات المعدنية او التباين الكيميائي بين منطقة واخرى والذي يحصل في بعض المسبوكات او المعادن المشكلة على الحار خصوصا تلك التي تحتوي على القصدير والنيكل، وتحدث هذه الظاهرة بعد السكب او التشكيل على الحار ويجب معالجتها قبل تسويقها للمستهلك.

### ب- التلين (Softening):

وهي عملية تلدين المعدن للتمكن من تشكيكه على البارد للمراحل الاخرى ويحصل فيه إعادة تبلور (Recrystallization) للمعدن خلال عملية التلدين (Annealing). واعادة التبلور معناه نشوء بلورات (Grains) جديدة على انقراض البلورات القديمة المشوهة وتكون خالية من الاجهادات الداخلية.

### ج- ازالة الاجهادات (Stress Relieving):

وهي العملية التي تؤدي الى تقليل او ازالة الاجهادات المتبقية في المعدن والتي قد تسبب حدوث التشققات الفصلية (Season Crackings) في البراص، على سبيل المثال، او التاكل الاجهادي (Stress-Corrosion)، وتتم ازالة الاجهادات بالتسخين عند درجة حرارة اقل من درجة حرارة التلدين التي يحصل فيها اعادة تبلور، وذلك للمحافظة على خواص المعدن الميكانيكية دون تغيير يذكر.

### د- التصليد بالترييب (Precipitation Hardening):

وهي زيادة الصلادة لبعض سبائك النحاس عن طريق المعالجة الحرارية، والتي تمت الاشارة اليها مسبقا. فعلى سبيل المثال، يمكن زيادة صلادة سبائك النحاس الحاوية على البريليوم والتي يحتوي قسم منها على النيكل او الكوبلت او الكروم وكذلك سبيكة نحاس - كروم ونحاس - زركونيوم ونحاس - نيكل - سليكون ونحاس - نيكل - فسفور.

### هـ- التصليد التحولي (Transformation Hardening):

ويُجرى لتصليد سبيكة معينة بحيث يتم تغيير طور بنيتها الى طور اخر اكثر صلادة. فبرونز الالمنيوم (ثنائي الطور) مع بعض سبائك برونز المنغنيز يمكن تصليدها بالاختاد لزيادة مقاومتها دون التضحية بمقدار يذكر من مطيليتها.

### و- التصليد بالتحلل المغزلي (Spinodal Decomposition):

تزداد مقاومة السبيكة عند حدوث هذا النوع من التحلل، كما هو الحال في سبيكة (67.2Cu-30Ni-2.8Cr) على سبيل المثال.

### ز- التحول المنتظم (Order Transformation):

وهو عملية تغير ترتيب ذرات المعدن المذاب من الترتيب العشوائي الى الترتيب المنتظم، كما هو الحال في سبيكة البراص (55Cu-45Zn) عند معالجتها حراريا بأسلوب معين، وعندها تزداد مقاومة السبيكة الى حد ما.

### ح- التصليد المجهري المزدوج (Microduplex Hardening):-

ويستخدم لتصليد سبيكة معينة عن طريق السيطرة الميكانيكية حرارية والتي تؤدي الى التوزيع الافضل لبنية البلورات الناعمة للطورين المتواجدين.  
وسناتي على اهم المعالجات التي تتم للنحاس وسبائكه وبالتفصيل.  
7- 2- 1 المجانسة:

تتطلب عملية المجانسة درجة حرارة عالية وزمن طويل نسبيا. وهي تستخدم لازالة او تقليل الانعزال او الفصل في المعدن المسبوك والذي سوف يستخدم للتشكيل الساخن او البارد. علما بان انواع البراص المختلفة نادرا ما تحتاج الى المجانسة وذلك لحصول عدة عمليات تلدين للسبيكة بين مراحل الاختزال الكبير للسبك عند التشكيل على البارد ناهيك عن الدرجة الحرارية المرتفعة له عند تشكيله على الحار مما يساعد كثيرا على حصول التجانس فيه.

ويكون الانتشار او التجانس بطيئا وصعبا في برونز القصدير او برونز السليكون وسبائك النحاس نيكول مقارنة بالسبائك الاخرى للنحاس، ولهذا فان هذه السبائك تخضع عادة الى معالجة تجانس طويلة قبل التشكيل الحار او البارد. وتكون في سبيكة برونز الفسفور الحاوية على القصدير باكثر من (8%) أعلى حالة انعزال بالرغم من ان هذه السبيكة تشكل على الحار لكنها من الناحية العملية تدرفل على البارد ايضا ولذلك تحتاج الى المجانسة لزيادة انتشار ذرات القصدير و من ثم تقليل الهشاشة الناتجة عنه، اي زيادة متانة ومطيلية السبيكة وتقليل الصلادة قبل الدرفلة. وتتم عملية المجانسة عند درجة حرارة °C 760 تقريبا.

### 7- 2- 2 التلدين او التليين:

تتم عملية التليين (Softening) للمعدن المشكل على البارد بعملية التسخين الى درجة حرارة تحصل فيها عملية اعادة تبلور للحبيبات التي شوهت اثناء إجراء عملية التشكيل. وعندما يجري التلدين المطلوب عند درجة حرارة عالية، يفترض ان يكون



التسخين متجانسا واعلى من درجة حرارة اعادة التبلور وحيثذ يحصل نمو للبلورات. ان درجة حرارة التلدين الشائعة للنحاس وسبائكه مبينة في الجدول (1-7).

### الجدول (1-7)

يتضمن درجة حرارة التلدين للنحاس والعديد من سبائكه.

المعدن او السبيكة		الرمز حسب النظام الالماني	مدى درجة حرارة التلدين	
			°F	°C
النحاس:				
500-1200	250-650	E-Cu	نحاس عالي التوصيلية الكهربائية	
600-1200	325-650	SW-Cu	نحاس منخفض الفسفور غير متأكسد	
700-1200	375-650	SF-Cu	نحاس عالي الفسفور غير متأكسد	
800-1200	425-650	OF-Cu	نحاس خالي من الاوكسجين	
750-900	400-475	STP	نحاس يحتوي على الفضة	
سبائك النحاس:				
800-1450	425-800	Cu95 Zn5	براص تجاري	
800-1450	425-800	Cu90 Zn10		
800-1400	425-750	Zn30 Cu70	براص 70	
800-1400	425-750	Al 5 Cu95	برونز الألمنيوم	
800-1350	425-725	Cu85 Zn15	البراص الأحمر	
800-1350	425-725	Cu65 Zn35	البراص الأصفر	
800-1350	425-700	Cu62Zn35Pb3	براص عالي الرصاص	
800-1350	425-700	Cu89Zn9.1Pb1.9	براص- رصاص	



800-1200	425-650	Cu60Zn39Pb1	سبيكة منتز ذات القطع الحر
800-1200	425-650	Cu57Zn40Pb3	براص - رصاص عالي الخارصين
800-1100	425-600	Cu60Zn40	سبيكة منتز (Muntz Metal)
800-1100	425-600	Cu94.8Sn5P0.2	برونز الفسفور
900-1250	475-675	Cu98.5Si1.5	برونز منخفض السليكون-B
900-1200	475-650	Cu98.5Sn1.3P0.2	برونز الفسفور، E1 25%.
1200-1500	650-815	Cu70Ni30	نحاس - نيكل 30%
1100-1500	600-815	Cu90Ni10	نحاس - نيكل 10%
900-1300	475-700	Cu97Si3	برونز عالي السليكون
1500	815	Cu91Al 7Fe2	برونز الالمنيوم (الفا)
1200<	650<	Cu95Al 2.8 Si1.8Co0.4	برونز الالمنيوم سليكون
1050-1200	575-650	Cu82Al10Ni5Fe3	برونز الالمنيوم
1425-1900	775-1050 *	Cu98Be1.7Co0.3	نحاس بريليوم

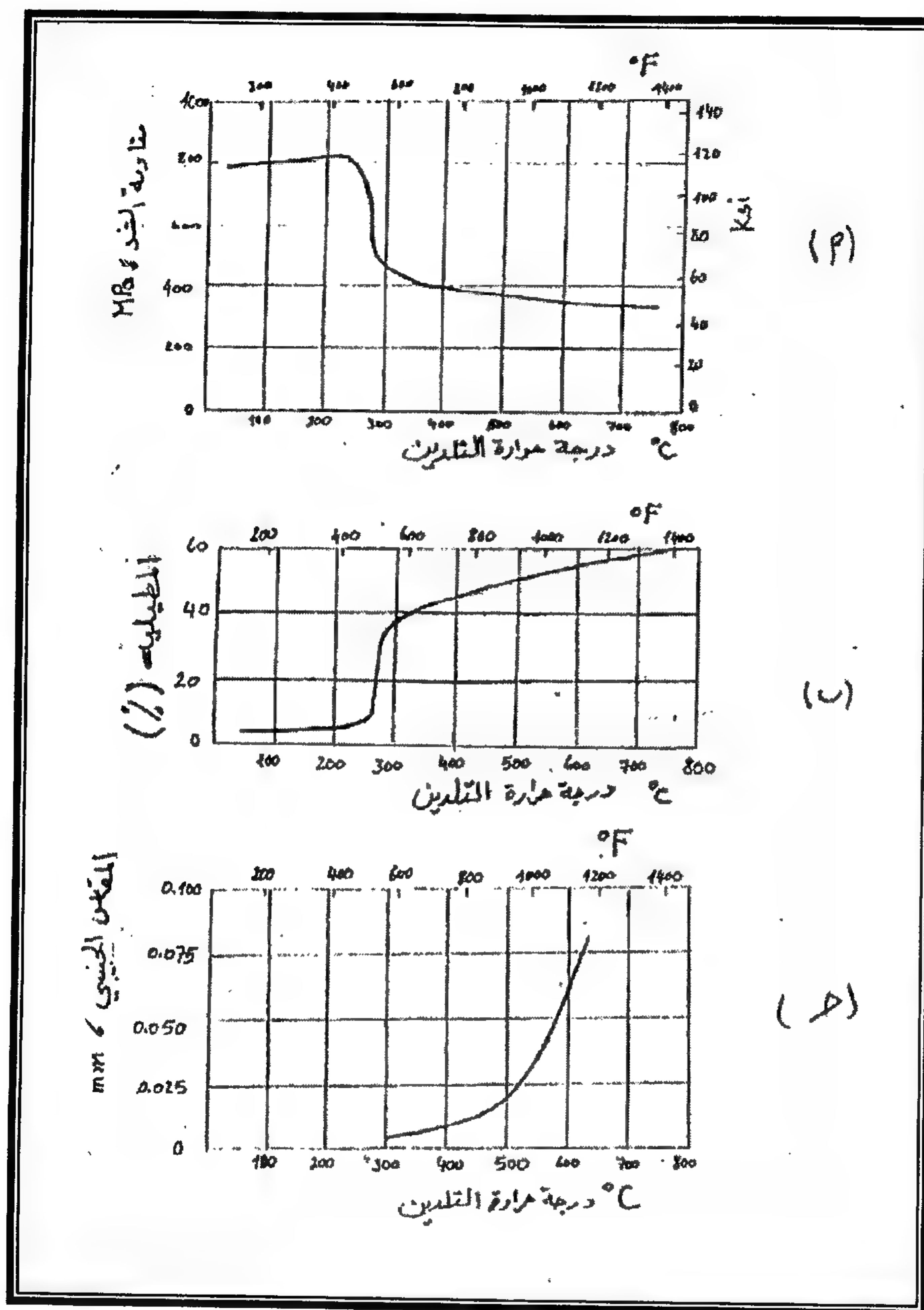
❖ معالجة محلولية

تتم السيطرة على عملية التلدين عن طريق تنظيم درجة حرارة المعدن والوقت المطلوب عند الدرجة الحرارية المحددة ونسبة الاختزال (التشكيل) على البارد التي اجريت على المعدن. اما بالنسبة لمعدل التسخين او التبريد فيعتبر غير ذي اهمية عدا ما يكون للسبائك الحاوية على طورين في بنيتها. وتعتبر طريقة التسخين وتصميم الفرن وجوّه وشكل وحجم القطع او المعدن ذات اهمية في عمليات التلدين لكونها تؤثر على نتائج التلدين. والتلدين وكلفة التلدين.

يمثل المقاس الحبيبي للنحاس وسبائكه المعيار القياسي لحساب التلدين للمعدن وذلك لان عدة متغيرات يمكن ان تؤثر على عملية التلدين، كما انه من الصعب التنبأ بدرجة حرارة وزمن محددين و اللذان يعطيان المقاس البلوري ( الحبيبي ) المطلوب للمعدن.

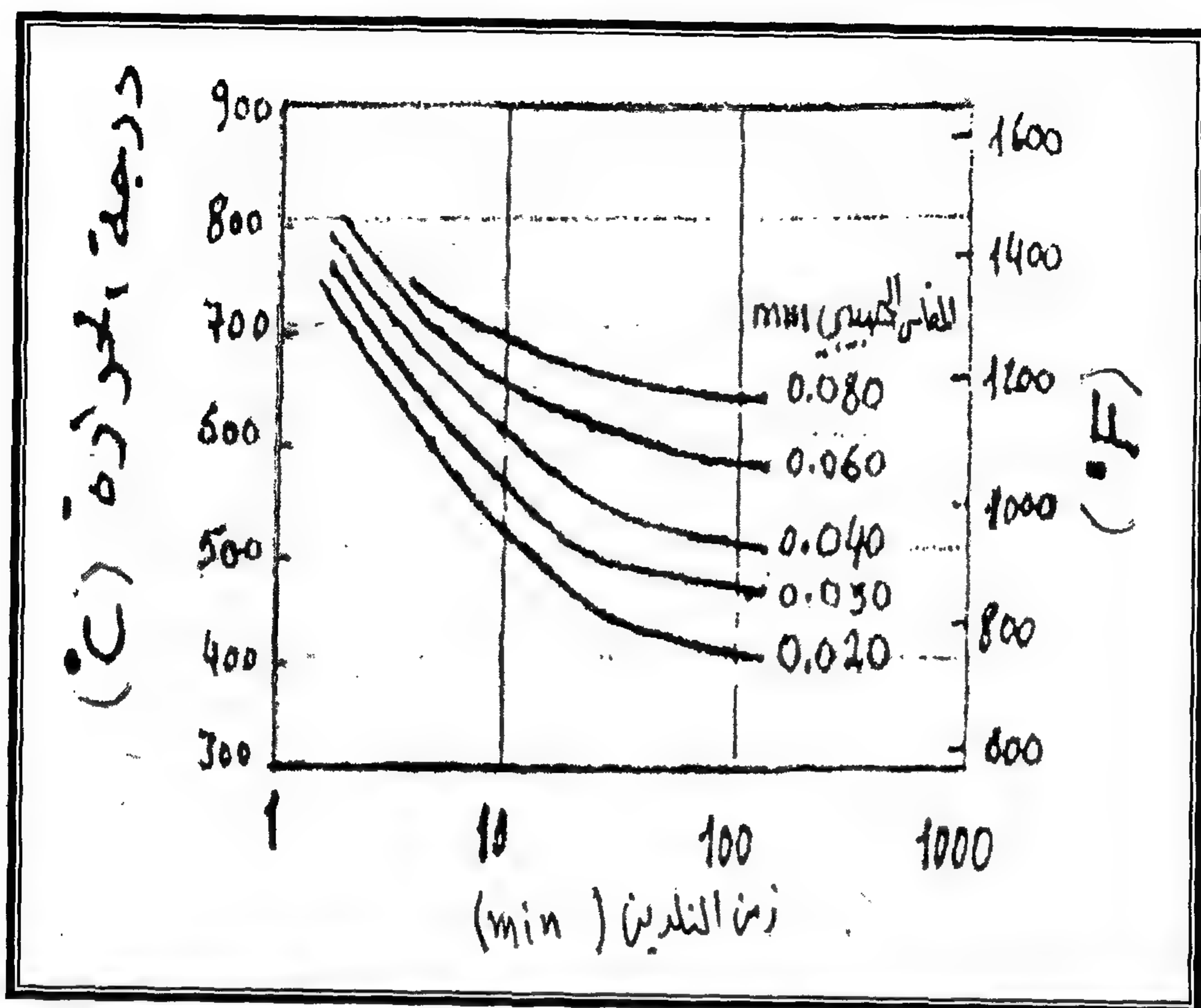
يبين الشكل (1-7 أ، ب، ج) المقاومة والمطيلية والمقاس الحبيبي وعلاقتها بدرجة حرارة التلدين لاسلاك مسحوبة من السبيكة ( $65\text{Cu}35\text{Zn}$ ) حيث يمكن تطبيق هذه المنحنيات على هذه السبيكة عند استخدام معين، وقد لا يمكن الحصول على نفس النتائج اذا اختلف مقدار التشكيل على البارد وعند نفس ظروف التلدين.

يمثل الشكل (2 - 7) علاقة درجة الحرارة التي تعطي مقاس حبيبي مختلف لمنتج واحد هو صفائح من سبيكة ( $65\text{Cu}35\text{Zn}$ ) مدرفلة وملدنة عند درجات حرارة وازمان مختلفة.



الشكل (7-1)

علاقة خواص الاسلاك المسحوبة بدرجة حرارة التلدين للسبيكة (65 Cu35Zn).



شكل (7 - 2)

تغير المقاس الحبيبي الناتج مع درجة الحرارة و زمن التلدين.

أن زيادة نسبة التشكيل البارد السابق لعملية المعالجة الحرارية تقلل من درجة حرارة إعادة التبلور. كما أن قلة نسبة التشكيل البارد يؤدي إلى مقاس حبيبي أكبر بعد عملية إعادة التبلور. وعند درجة حرارة وزمن تلدين ثابتين فإن المقاس الحبيبي الكبير الأول قبل التشكيل (البارد) يعطي مقاساً حبيبياً كبيراً نسبياً بعد إعادة التبلور والعكس صحيح أي عندما يكون المقاس الحبيبي الأول صغيراً قبل التشكيل يُعطي مقاساً حبيبياً صغيراً. وفي التطبيقات للأغراض التجارية فإن سبائك النحاس تلدن عادة بدرجة حرارة

تنخفض تدريجياً مع زيادة التشكيل على البارد قبل التلدين. اما درجة حرارة التلدين العالية فانها تعجل من التجانس وتزيد من ليونة السبيكة مما يسمح بزيادة نسبة التشكيل البارد اللاحق والتي تعطي جدوى اقتصادية أكبر.

وفي عمليات التلدين الصحيحة يصغر المقاس الحبيبي تدريجياً للحصول على المقاس الحبيبي المرغوب به أخيراً بسبب الخواص الميكانيكية الجيدة للبنية الناعمة. تتم عملية تلدين واحدة او اثنتين، بين مراحل التشكيل البارد، وقبل التلدين النهائي وذلك للحصول على السمك النهائي المطلوب اولا والحصول على مقاس حبيبي معين ومتجانس (اي ليس في البنية حبيبات خشنة واخرى ناعمة) في الحزمة (الوجبة) الواحدة او الحزم المختلفة من الانتاج.

### 7-2-3 السبائك المستقرة المقاس الحبيبي

(Grain Size Stabilized Alloys)

لقد طورت سبائك نحاس متعددة للحصول على مقاس حبيبي ثابت ومستقر عن طريق التوزيع المنتظم للطور الثاني، على سبيل المثال، سبائك نحاس- حديد كما في (97Cu - 1.5Fe - 0.1P-0.8Co-0.6Sn)، و(97.5Cu-1.5Fe-0.05P-0.12Zn)، و(37Cu-1.0Fe-0.3P98) سبائك برونز الألمنيوم و البراص الحاوي على الألمنيوم كما في (90Cu8Al2Ni) و(95Cu2.8Al1.8Si0.4Co) و(73.5Cu22.7Zn3.4Al0.4Co) و(75.3Cu22.7Zn3.4Al0.6Ni).

تحافظ هذه السبائك على المقاس الحبيبي الناعم عند درجات حرارة اقل من درجة حرارة التبلور لهذه السبائك وحتى درجة الحرارة التي يتحلل عندها الطور الثاني والتي يبدأ بعدها نمو الحبيبات. وتعكس خاصية المقاس الحبيبي الخواص الميكانيكية للسبيكة وحتى درجة حرارة مقدارها ثلث درجة حرارة اعادة التبلور لتلك السبيكة تقريبا. وبصورة عامة هناك حالتان من التلدين احدهما تتم عند درجة حرارة اعلى بقليل من درجة حرارة اعادة التبلور والثانية تتم عند درجات حرارة اعلى بكثير من درجة حرارة اعادة التبلور ولكن لاتصل الى درجة الحرارة التي يحصل عندها نمو سريع للحبيبات. والحالة الثانية آفة الذكر تعطي ليونة اكبر للسبيكة.



## 7- 2- 4 دور المقاس الحبيبي في الخواص الميكانيكية:

ان للمقاس الحبيبي دور كبير في الخواص الميكانيكية للمعدن كالصلادة ومقاومة الخضوع وحد الكلال ومقاومة الشد والمتانة (Toughness) والمطيلية حيث تتحسن بصورة ملموسة عند تصغير الحبيبات لنفس السبيكة. ولذلك يعتبر تنعيم الحبيبات (البلورات) احد اهم آليات تصليد وتقوية المعدن ومن دون التأثير على مطيلته بل على العكس قد تتحسن ايضا كما لاحظته العديد من الباحثين.

كما لاحظوا ايضا ان اجهاد الانسياب (Flow Stress) [اي المقاومة عند اي انفعال ابتداء من الصفر (Yield Point) وحتى الانفعال عند اعظم مقاومة شد] يعتمد على المقاس الحبيبي (Grain Size) بعلاقة بسيطة تسمى معادلة بيج (Petch Equation) وهي:

$$\sigma_{\varepsilon} = \sigma_0(\varepsilon) + Kd^{-\frac{1}{2}}$$

حيث

$d$  = المقاس الحبيبي

$\sigma_{\varepsilon}$  = اجهاد (مقاومة) الانسياب

$K$  و  $\sigma_0(\varepsilon)$  = ثابتان

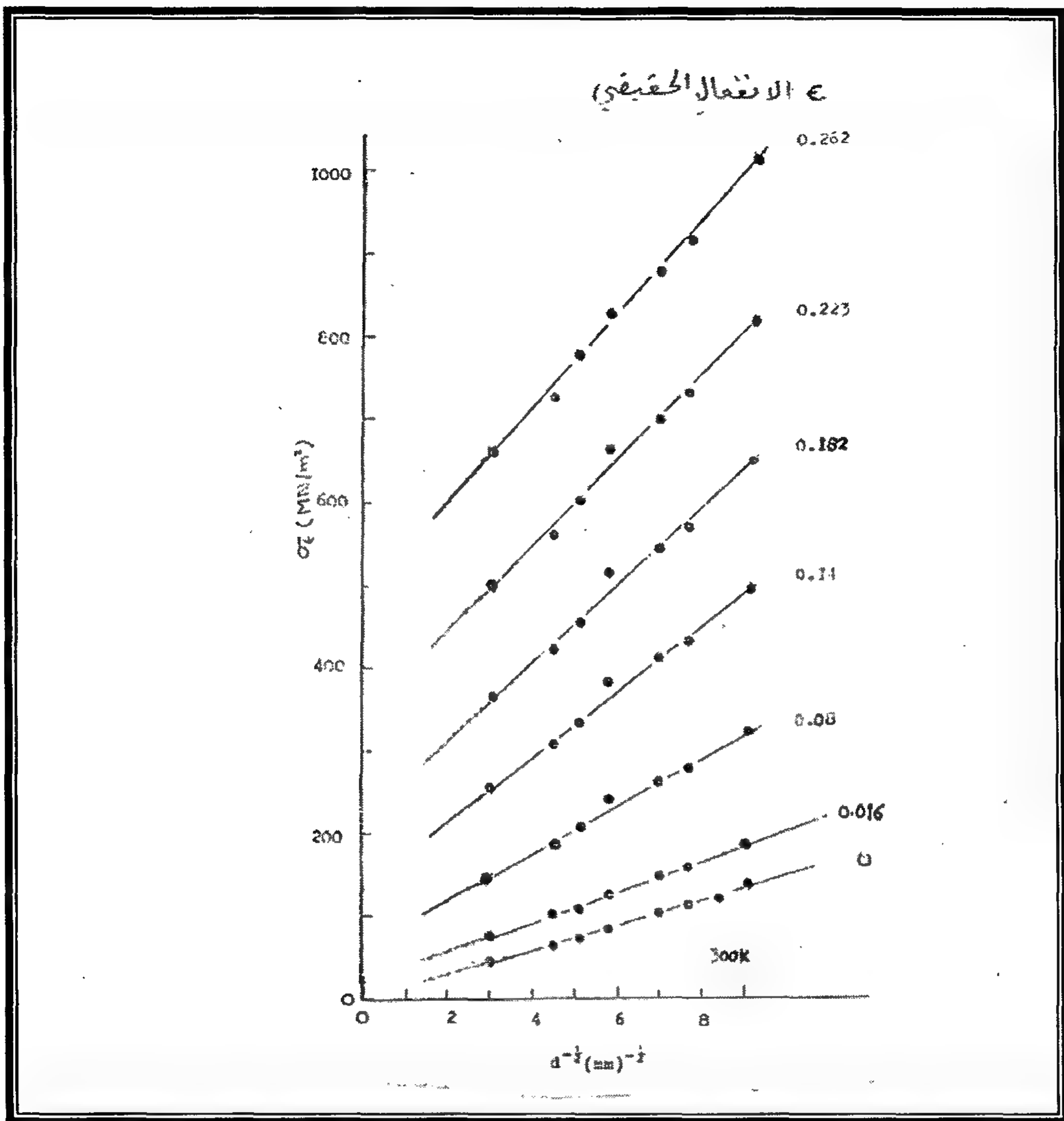
وهذان الثابتان يعتمدان على طبيعة السبيكة وظروف الفحص. والشكل (7-3 أ و ب) يبين هذه العلاقة لسبيكة براص (30-70) وعند درجتي حرارة الغرفة و  $200^{\circ}\text{C}$ . كما وجدوا أن نفس العلاقة سائدة للصلادة وخواص اخرى. اضافة لما لاحظوه من علاقة بسيطة ايضا بين درجة حرارة الانتقال (Transition Temperature) في الفولاذ (Steel) والمقاس الحبيبي اي انه كلما صغر المقاس الحبيبي كلما قلت درجة حرارة الانتقال اي ازدادت المتانة.

تزداد الخواص الميكانيكية اعلاه عند تصغير المقاس الحبيبي عند درجات الحرارة الواطئة نسبيا وحسب درجة حرارة انصهار المعدن اي اقل من حوالي  $(0.5 T_m)$  حيث تمثل  $T_m$  درجة حرارة انصهار المعدن المطلقة.

اما عند درجات الحرارة العالية اي اعلى من (0.5 Tm) فللمقاس الحبيبي دور اخر عكس ما لدوره عند درجات الحرارة المنخفضة. اي ان مقاومة الشد تكون اقل في السبيكة ذات المقاس الحبيبي الاصغر من نظيرتها ذات المقاس الحبيبي الاكبر عند درجات الحرارة العالية نسبيا. وهذه ناحية مفيدة جدا عند اجراء عمليات التشكيل على الحار مثل الدرفلة الحارة (Hot Rolling) والبثق والسحب العميق وغير ذلك. لأن السبيكة ذات المقاس الحبيبي الصغير تحتاج الى قوة اقل من نظيرتها ذات المقاس الحبيبي الكبير ولنفس مقدار التشكيل وعند نفس درجة الحرارة.

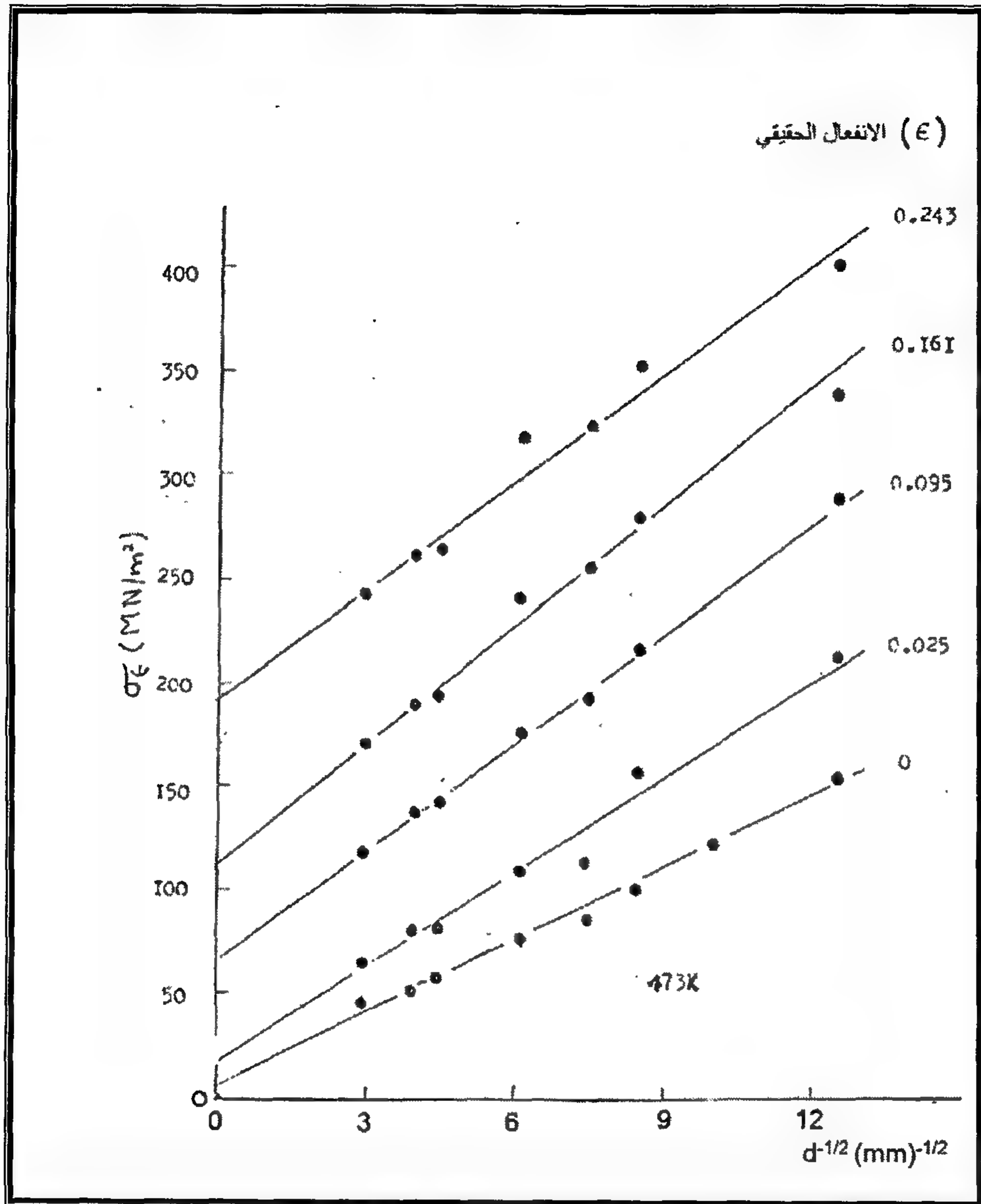
وتفسير ذلك ان الحدود البلورية (Grain Boundaries) تكون اقوى من داخل البلورة عند درجات الحرارة الواطئة اي انها تعيق حركة الانخلاعات (Dislocations) خلال عملية التشكيل ولذلك يلزم تسليط اجهاد اكبر لاثارة مصدر توليد انخلاعات جديد في البلورة المجاورة نتيجة للاجهاد المتولد من تراكم الانخلاعات على الحد البلوري بين هذه البلورة والتي تجاورها. اذن فالحدود البلورية تعيق عملية التشكيل البارد، لذلك تعتبر مصدر تقوية للسبيكة.

اما عند درجات الحرارة العالية فتكون الحدود البلورية اضعف من داخل البلورات. فالتشكيل يكون اسهل لان البلورات تنزلق (Sliding) الواحدة على الاخرى من خلال الحدود البلورية حيث ان درجات الحرارة العالية تساعد على انتشار ذرات السبيكة خلال الحدود البلورية بصورة اسهل بكثير مما هي عليه داخل البلورة (Grain). وبذلك تنساب المادة خلال الحدود البلورية ويحدث الانزلاق. ولهذا نحتاج الى اجهاد اقل عند تشكيل السبيكة ذات المقاس الحبيبي الصغير مقارنة بتشكيل نفس السبيكة ولكن ذات مقاس بلوري اكبر. وهذه خاصية ايجابية عند عمليات التشكيل الحار. وسلبية عندما يراد لها ان تقاوم الزحف (Creep) كما هو الحال في المراجل البخارية ومحطات توليد الطاقة وريش التوربينات وغيرها من تطبيقات درجات الحرارة العالية.



شكل (7-13)

العلاقة بين المقاس الحبيبي و اجهاد الانسياب عند درجة حرارة الغرفة و لمقادير مختلفة من الانفعال الحقيقي لسبيكة براض الفا (30-70).



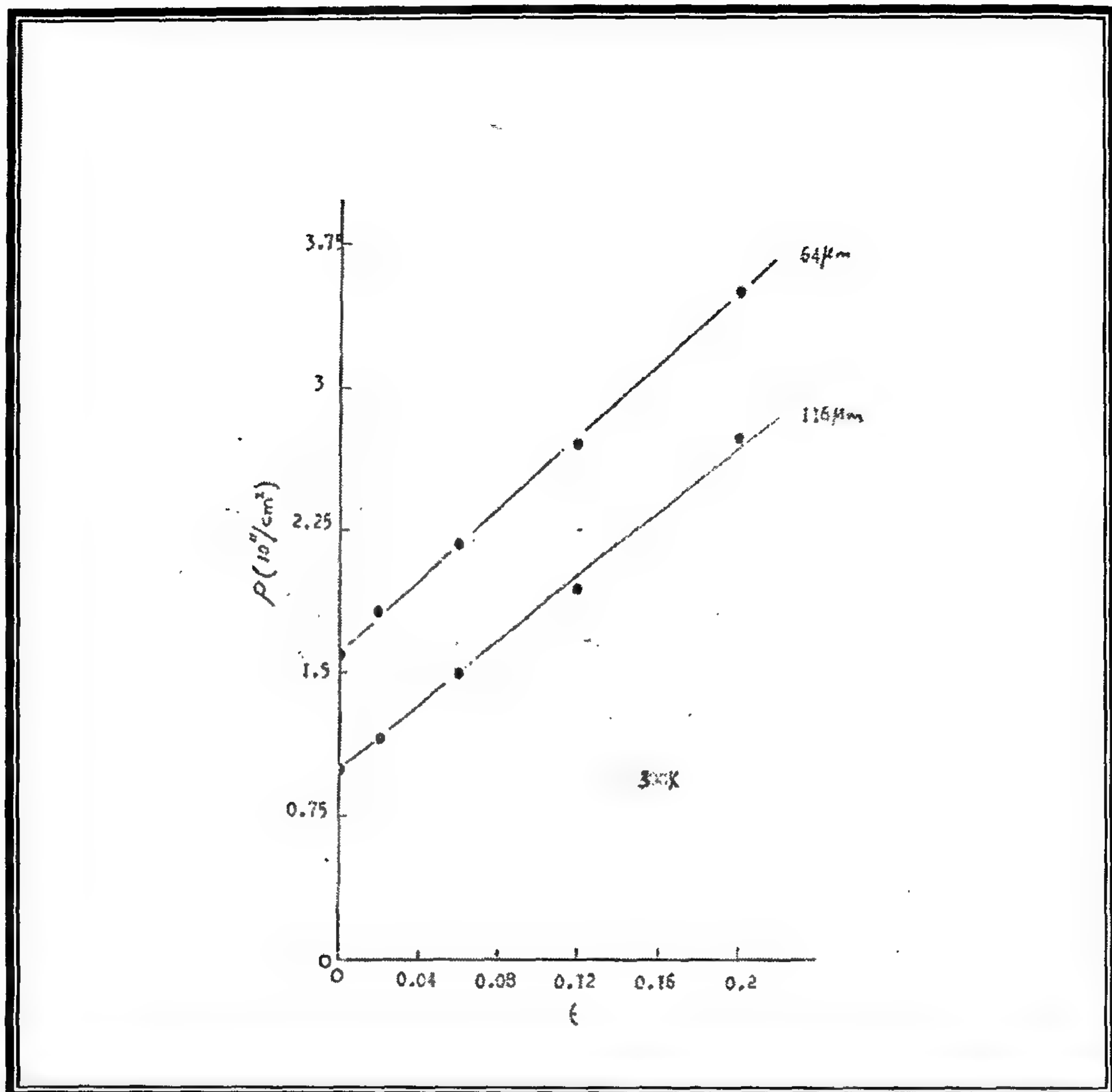
شكل (7-3 ب)

العلاقة بين المقاس الحبيبي (d) و اجهاد الأنسياب ( $\sigma_e$ ) عند درجة حرارة ( $200^\circ\text{C}$ ) لسبيكة براض الفا (30-70).

ولهذا تفضل السبيكة ذات المقاس البلوري الكبير، في هذه الحالات، والافضل ان لاتكون فيها اية حدود بلورية اي ان تكون بلورة احادية (Single Crystal) ان أمكن ذلك. ومن المعلوم انه كلما زاد مقدار التشكيل اللدن على البارد، والى حد معين، كلما زادت كثافة الانخلاعات (Dislocation Density) خصوصا عند السبائك ذات طاقة خلل النسق الواطئة (Low Stacking Fault Energy) وبصورة خطية، كما في سبائك برونزيات الالمنيوم وبرنزيات القصدير و البراص..... ولان الحدود البلورية تعيق حركة الانخلاعات فستكون كثافتها اكبر في السبيكة ذات المقاس الحبيبي الاصغر مما في نظيرتها ذات المقاس الحبيبي الاكبر وعند اي مقدار تشكيل بارد محدد، والشكل (4-7) يبين ذلك في سبيكة البراص (30-70).

يختلف المقاس الحبيبي والخواص الميكانيكية المطلوبة للاجزاء المشكلة على البارد اختلافا كبيرا مع نوع السبيكة ومع نسبة ونوع التشكيل الذي يجرى للمعدن. ان العلاقة التقريبية بين المقاس الحبيبي ونسبة التشكيل البارد للنحاس وسبائكه مع قابلية تنعيم سطح المنتج النهائي مبينة في الجدول (4-7).





شكل (4-7)

كثافة الانحلاعات ( $\rho$ ) مع الأنفعال الحقيقي ( $\epsilon$ ) عند درجة حرارة الغرفة و للمقاس الحبيبي 64 $\mu$ m و 116  $\mu$ m في سبيكة براص الفا (30-70).

## جدول (2-7)

المقاس الحبيبي المطلوب لمختلف عمليات التشكيل البارد.

معدل المقاس الحبيبي (mm)	الاستخدام
0.015	عملية التشكيل البسيط
0.025	سحب قليل، قابلية تنعيم سطح ممتازة
0.035	افضل قابلية سحب وتنعيم
0.050	سحب عميق مع قابلية تنعيم مقبولة
0.070	سحب عميق مع صعوبة التنعيم

ويستخدم هذا الجدول بالنسبة لسبائك البراص واطيء النحاس نسبيا (70Cu-30Zn) و(65 Cu-35Zn). اما بالنسبة للسبائك الحاوية على نسبة اعلى من النحاس والتي تكون ذات مطيلية اكبر ولا تتصلد بسرعة عند التشكيل البارد، فان المقاس الحبيبي (0.035mm) يعتبر مقبولا لعمليات السحب العميق لهذه السبيكة.

ان الهدف من المعالجات الحرارية البينية في عمليات التشكيل على البارد هو تليين السبيكة (زيادة مطيليتها) نسبيا للحفاظ على سطح نقي صافي للمنتج ومن ثم تقليل اوعدم الحاجة الى عملية صقل لسطح المنتج النهائي. ويجب ان يتم التلدين (التلين) بمراحل متعددة حسب مقتضيات نسب التشكيل وصولا الى الهدف النهائي لخواص ومواصفات المنتج.

7- 2- 5 احتياطات عامة:-

أ- اختبار النماذج: يجب ان تعكس خواص النماذج مدى درجة الحرارة في الفرن المحمل بكمية كبيرة من السبيكة. فبالنسبة للسبائك ذات الطور الواحد البسيط، فان ادق قياس لحالة التلدين هو معدل المقاس الحبيبي حيث يمثل القاعدة الاساسية في قبول او رفض المنتج. ان عملية قياس المقاس الحبيبي تتطلب اجهزة

- خاصة قد لا تتوفر في بعض المصانع لذلك يستعاض عنها بقياس صلادة روكويل لكونها اكثر ملائمة للانتاج الكمي حيث لا تحتاج الا الى عمليات بسيطة لتحضير النماذج الملائمة لهذه الطريقة اضافة الى انها صالحة الى حد ما للمقارنة مع المقاس الحبيبي باستخدام طريقة الجمعية الامريكية للفحص والمواد (ASTM).
- ب- تأثير المعالجة الحرارية: نتيجة لتأثير مدى اونسبة التشكيل البارد والمقاس الحبيبي الناتج بعد اخر عملية تلدين على النتائج المطلوبة لمرحلة التلدين المحدد، فان ذلك يتطلب اجراءات تحضيرية واعداد جداول تلدين لتلك السبيكة ليتم تحديد ظروف المعالجة الحرارية الناجحة.
- ج- تأثير الزمن: ان الفرق بين درجة حرارة الفرن والمعدن قائم في اغلب الاحيان، اما الزمن فيعتبر ذو تأثير مهم للوصول الى درجة الحرارة المطلوبة وعلى تجانس درجة حرارة الفرن، ولذا فان الوقت يجب ان يتغير تبعا لحجم ونوع تحميل الفرن من السبائك. لذا يجب ان توضع المقاييس الحرارية بالموضع الصحيح حسب تحميل الفرن كي تعطي مقدارا صحيحا لدرجة حرارة المعدن.
- د- الاكسدة: يجب تقليل مقدار الاكسدة في الافران لتقليل الفقدان في المعدن اولا وتقليل كلفة عملية ازالة طبقة الاوكسيد من المعدن ثانيا ومن ثم تحسين نوعية سطح المنتج. ولتحقيق ذلك يستخدم في بعض الاحيان الامونيا المفككة وغاز ناشر للحرارة في الفرن وذلك للحصول على معدن ذي سطح لماع (غير مؤكسد). ويعطي جو الفرن المسيطر عليه (Controlled atmosphere) نتائج اقتصادية افضل.
- هـ- هشاشة الهيدروجين: عند تلدين النحاس الحاوي على الاوكسجين، فيجب تقليل نسبة الهيدروجين في جو (محيط) الفرن تجنباً لحصول حالة الهشاشة. وعند درجة حرارة اقل من  $480^{\circ}\text{C}$  فان نسبة الهيدروجين يجب ان لا تزيد على 1% وكلما ارتفعت درجة الحرارة عن ذلك فيجب تقليل نسبة الهيدروجين حتى تقترب من الصفر.

و- التلدين للحصول على خواص شد معينة: بسبب التاثر الشديد لخواص الشد بدرجة حرارة التلدين فانه من الصعب الحصول على قيم ثابتة لمقاومة الشد (Tensile Strength) ومعدل الصلادة لمعدن ملدن بدرجة حرارة قريبة من درجة اعادة التبلور واخر ملدن عند درجة حرارة اعادة التبلور. ان السيطرة على معدل التسخين ودرجة الحرارة كافيان للحصول على خواص ميكانيكية متماثلة تقريبا. وكمحصلة فان تلدين الحزمة (Batch) للحصول على خواص معينة تتم فقط عندما تكون الخواص المطلوبة ليست حرجية. وعند تلدين الحزمة فان الطريقة العملية هي بالتلدين الكامل ومن ثم الحصول على الخواص المتوسطة المرغوبة عن طريق تحديد مقدار التشكيل البارد.

ان السيطرة المغلقة على دورة التسخين في عملية التلدين المتواصل ممكنة حيث ان هذه الطريقة يمكن ان تعطي تجانسا اكثر في خواص الحزمة.

ز- التحميل: ليس من الصحيح تلدين حزمة (شحنة) متكونة من احجام وابعاد ونوعيات مختلفة بسبب اختلاف معدلات التسخين لكل منها والتي تؤدي الى حصول اختلاف في خواصها.

ح- التشققات النارية (Fire Crackings): وهي نوع من التشققات التي تحدث في بعض السبائك التي تحتوي على اجهادات متخلفة، عند تسخينها بمعدل تسخين عال، ومنها السبائك الحاوية على الرصاص في تكوينها. والافضل هو التسخين ببطء حتى تتم عملية ازالة الاجهادات المتخلفة حيث يمكن تفادي حصول مثل هذه التشققات.

ط- الشوائب: تؤثر الشوائب غالبا في البنية الميتالورجية للسبيكة فعندما يراد مقاس حبيبي معين في السبيكة للحصول على خواص ميكانيكية معينة، فيجب عندئذ السيطرة على نسبة الشوائب. ومما لاشك فيه فان نسبة الشوائب تؤثر على المقاس الحبيبي وعلى درجة حرارة اعادة التلدين للسبيكة ومن ثم على الخواص الميكانيكية لها.



ي- الصدمة الحرارية (Thermal Shock): وتكون ناتجة اما عن التسخين السريع او التبريد السريع ومن ثم حدوث الاجهادات الحرارية التي تؤدي الى حصول التشققات كما في البراص الحاوي على الرصاص.

ك- بقع الكبريت: وهي ناتجة عن وجود زيادة في نسبة الكبريت للوقود او الزيت المستخدم في التزيت والمتخلف على سطح السبيكة. وتظهر بعد عمليات المعالجة الحرارية على شكل بقع حمراء على البراص او بقع بنية محمرة على السبائك الحاوية على نسبة نحاس عالية. ويتم تفاديها عن طريق ازالة الزيوت عن القطع قبل عملية التلدين.

## 7- 2- 6 ازالة الاجهادات (Stress Relieving)

تمتاز بعض سبائك النحاس بظهور حالة التشققات الانية بسبب الاجهادات المتخلفة عند الطبقة السطحية للمعدن و التي تحصل عند التشكيل بدرجة حرارة اقل من درجة حرارة اعادة التبلور له حيث قد يحصل التاكل الاجهادي (Stress Corrosion Cracking). ان الاجهادات المتخلفة تسهم في حدوث هذا النوع من التاكل والذي يحدث في السبائك التي تحتوي على نسبة خارصين اكثر من 15 % اضافة الى السبائك الحاوية على نسبة نحاس عالية كما في برونز الالمنيوم و برونز السليكون. وبصورة عامة فان اغلب سبائك النحاس تكون معرضة لحصول التشققات عند تواجد الاجهادات فيها.

التطبيقات الصناعية لعملية ازالة الاجهادات تشمل اما على ازالة الاجهادات ميكانيكية كما في الانحناء والتسطيح، او حراريا بالتسخين تحت درجة حرارة اقل من درجة حرارة اعادة التبلور او بكلتا الطريقتين. ان ازالة الاجهادات حراريا غالبا ما تستخدم للمنتجات النهائية لمنع حدوث اي فشل نتيجة التعرض لجو تاكلي، ويبين الجدول (3-7) درجات الحرارة اللازمة لازالة الاجهادات لمجموعة من السبائك وبزمن قدره ساعة واحدة.

ان استخدام درجات حرارة اعلى لازالة الاجهادات ويزمن اقل تعتبر افضل لكونها عملية اقتصادية من ناحية الزمن والكلفة ولكن على حساب التضحية بالخواص



الميكانيكية الى حد ما. اما استخدام درجات حرارة اوطى مع زمن اطول فسوف يوفر ازالة كاملة للاجهادات وبدون اي نقص في الخواص الميكانيكية. ومن الناحية العملية فان صلادة المعدن المشكل على البارد ومقاومته ستزداد قليلا (في حالة ازالة الاجهادات عند درجة حرارة واطئة نسبيا) بالاضافة الى الفائدة في عدم تاثر الابعاد اثناء عملية ازالة الاجهادات حراريا. كما تستخدم ايضا للاجزاء الموصولة باللحام او الهياكل المشكلة على البارد عن طريق تسخينها الى حوالي  $110^{\circ}\text{C}$ . اما المنتجات المصنعة فان درجة الحرارة لازالة الاجهادات فيها هي اعلى من هذه القيمة.

### جدول (3-7)

درجة حرارة ازالة الاجهاد في ساعة واحدة لبعض سبائك النحاس.

السيكة		درجة حرارة ازالة الاجهاد في ساعة واحدة	
		$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$
Cu60-Zn40		205	400
Cu61.5Zn35.5Pb3		245	475
Cu71Zn28Sn1		290	550
Cu94.8Sn5Pb0.2		190	375
Cu70Ni30		245	475
Cu65Ni18Zn17		245	475
Cu95Zn5		190	375
Cu90Zn10		205	400
Cu85Zn15		230	450
Cu80Zn20		245	475
Cu70Zn30		260	500
Cu65Zn35		260	500

## 7-2-7 التصليد بالترسيب وتوابعه:

لقد تم ذكر آلية التصليد بالترسيب بصورة عامة. اما الحصول على صلادة ومقاومة عاليتين، في اغلب سبائك النحاس، فتتم عن طريق التشكيل على البارد. اما سبائك النحاس التي تحوي نسبة قليلة من البريليوم والكروم والزركونيوم والنيكل مع السيليكون او الفسفور فيتم تصليدها عادة عن طريق آلية الترسيب التي سبق التطرق اليها.

ان جميع السبائك المصلادة بالترسيب تمتلك سلوكا مماثلا للسبائك الاخرى ويمكن ان تعالج للحصول على الليونة المطلوبة عن طريق المعالجة الحرارية المحلولة. اي رفع درجة حرارتها الى درجة عالية نسبيا ولزمن معين وحسب السبيكة ثم اخادها (Quenching) الى درجة حرارة الغرفة. ويمكن اجراء عملية التصليد بالترسيب عن طريق التعتيق (Aging) بدرجة حرارة معينة ولزمن لايزيد على ثلاث ساعات. ان مزايا هذه السبائك المعالجة بهذه الطريقة هي:

- 1- سهولة التصنيع بعد استلامها كسبيكة معالجة محلوليا اي في حالة الليونة.
- 2- سهولة تنفيذ عملية التصليد بالتعتيق عن طريق استخدام درجات حرارة متوسطة وتتم عادة في الهواء اي من دون الحاجة الى جو مسيطر عليه او الحاجة الى السيطرة على عملية التبريد، كما ان زمن التعتيق لايعتبر حرجا.
- 3- يمكن الحصول على خواص توافقية تشمل المقاومة والصلادة والمطيلية والتوصيلية الكهربائية والمتانة (Toughness) عن طريق تغيير درجات حرارة التعتيق ومدته، حيث ان المتطلبات الخاصة لكل تطبيق تحدد حالة التصليد التي يمكن ان تتم للمعدن.

تجهز السبائك القابلة للتصليد بالتعتيق بعد ان تعالج محلوليا، او معالجة محلوليا ومشكلة على البارد، او تكون في حالة مصلادة بالتعتيق، وفي كل الاحوال يشار الى حالة المعالجة الحرارية التي عليها السبيكة بحروف و ارقام معينة. ان عملية التصليد للسبائك قبل اجراء عملية التشكيل غير ضرورية، وفي بعض الاحيان تتم ازالة الاجهادات فقط بعد عملية التشكيل. تستخدم هذه الطريقة عادة للنوابض الكابولية (Cantilever Type Spring) وبعض

اجزاء المكائن المعقدة التي تتطلب مقاومة عالية (High Strength) عند درجات الحرارة المتوسطة.

#### أ- نحاس- بريليوم Cu-Be

يمكن لسبيكة النحاس- بريليوم المشكلة ان تعطي مدى واسع من الخواص الميكانيكية اعتمادا على طبيعة المعالجة المحلولة والتعتيق ونسبة التشكيل البارد قبل او بعد اي مرحلة من مراحل المعالجة الحرارية. وبما ان سبيكة النحاس- بريليوم المسبوكة (المصبوبة) غير مشكلة على البارد لذلك فان تغيير خواصها يتم عن طريق المعالجة المحلولة والتعتيق فقط.

تجهز سبائك النحاس- بريليوم بعد المعالجة المحلولة او معالجة محلوليا ومشكلة على البارد، حيث يتم تصنيع الاجزاء مباشرة منها. وقد لا تجرى المعالجة المحلولة من قبل المصنع الا عندما يراد متطلبات خاصة فيها كالليونة (Softness) او المنتجات نصف النهائية التي تكون جاهزة للتشكيل اللاحق او لاصلاح الاجزاء التي تمت معاملتها بصورة غير صحيحة عند اجراء عملية التعتيق. ويجب ان تتم عملية المعالجة المحلولة بعناية للحصول على المقاس الحبيبي المطلوب اضافة الى ملاحظة الابعاد والخواص المطلوبة والسماحات مع الاخذ بالاعتبار تقليل اكسدة السطح او منعها.

يجب ان تثبت حدود درجات الحرارة عندما يراد الحصول على خواص معينة نتيجة لاجراء المعالجة المحلولة. اما اذا زادت درجة الحرارة المحلولة فسوف نحصل على حبيبات خشنة وهو ما يدعى الافراط في التسخين (Over Heating) مما يؤثر سلبا على مطيلية المعدن اي زيادة هشاشيته ومن ثم لافائدة ترجى في عملية التعتيق بعد ذلك. اما المعالجة المحلولة بدرجة حرارة اقل من الدرجة المحددة فتؤدي الى عدم اكتمال ذوبان الطور الثاني المشبع بالبريليوم والذي يسبب نقصان في صلادة السبيكة بعد اجراء عملية التعتيق.

ان وقت المعالجة المحلولة عند درجة الحرارة المحددة يعتمد على الطور الثاني المشبع بالبريليوم فيجب ان ينحل (يذوب) في المحلول الجامد بصورة متكاملة كي تعطي السبيكة

اعلى مقاومة بعد التعتيق. تزيل عملية المعالجة المحلولة للمعادن المشكلة تأثير التشكيل البارد ومن ثم تسمح بمقدار اضافي من التشكيل البارد لكون درجة حرارة المعالجة المحلولة اعلى من درجة حرارة اعادة التبلور. ولتجنب حدوث نمو في الحبيبات فيجب ان يحدد زمن المعالجة المحلولة.

ان الطريقة الشائعة لعملية التبريد السريع هي الاتحاد بالماء سواء في حالة السبيكة المسبوكة او المشكلة وحسب شكل السبيكة. وقد تفشل بعض السبائك المسبوكة نتيجة لحدوث بعض التشققات فيها بسبب التبريد المفاجيء ولذا تبرد احيانا بالزيت او بتيار هوائي سريع ولكن قد يحدث بعض الترسيب عند معدل التبريد البطيء.

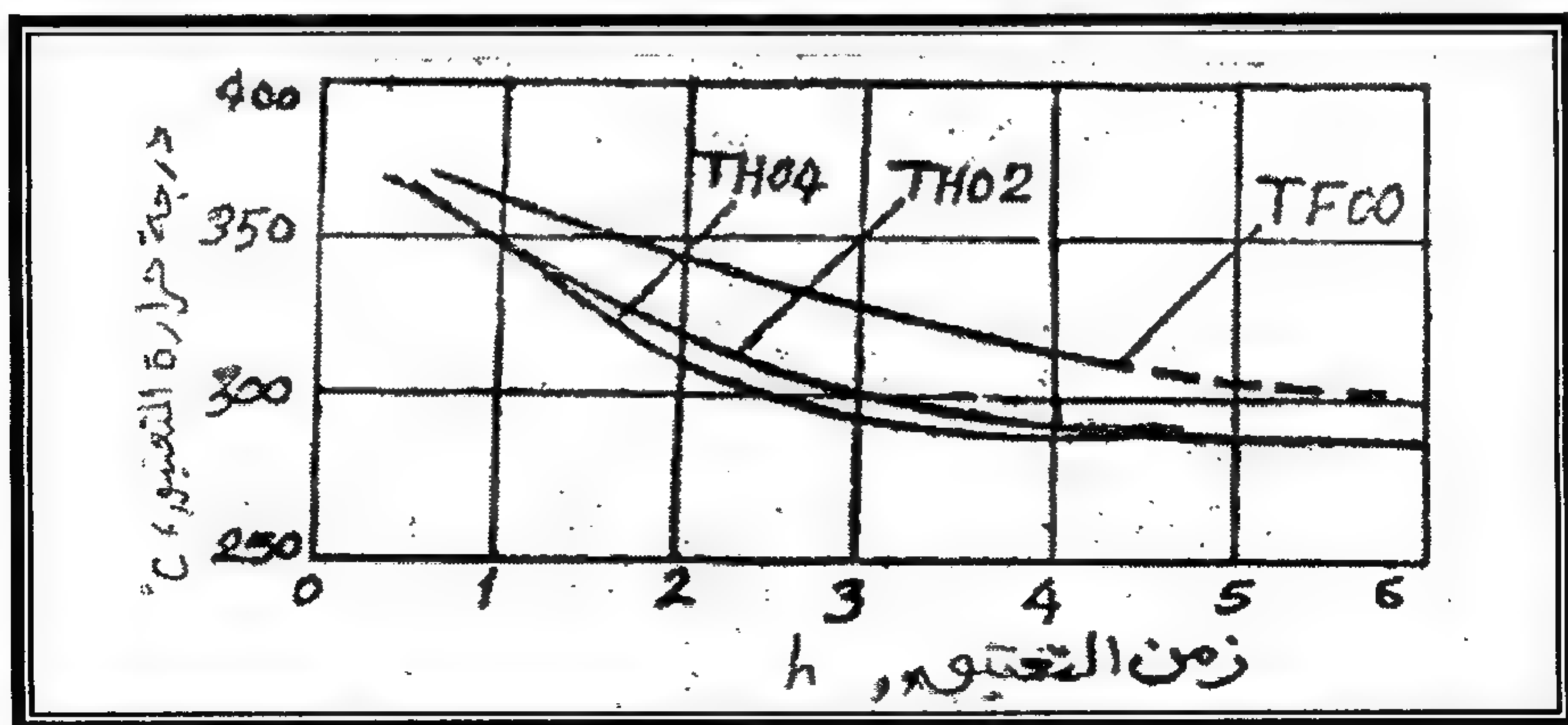
وعندما تتم معالجة سبيكة النحاس بريليوم حراريا بالجو المفتوح او المؤكسد فانها تؤدي الى حدوث حالتين من الاكسدة، فتكون طبقة من الاوكسيد مستمرة ومتينة و تكون عالية البريليوم. اما السبائك الحاوية على نسبة قليلة من البريليوم فان التاكسد قد يدخل الى داخل الطبقات السطحية للمعدن. ان الطبقة الاوكسيدية السطحية لا تؤثر على الخواص الميكانيكية للسبيكة المصلدة بالتعتيق ولكنها تؤدي الى بلي (Wear) عدد القطع والقوالب عند تشغيلها. اما بالنسبة للاكسدة الداخلة الى الطبقات السطحية للسبيكة فانها تضعف الخواص الميكانيكية لها، لأن الاكسدة التي تحصل داخل الطبقات السطحية للسبيكة تقلل من السمك الفعال للسبيكة. ويمكن ازالة طبقة الاكسدة بطريقة المعالجة الكيميائية (Pickling) او طريقة التنظيف بالتجليخ لسطح السبيكة. التعتيق (Aging)

يؤثر التشكيل على البارد للمنتجات الملدنة لسبيكة نحاس بريليوم على مقاومتها ويزداد التأثير عندما يتم تعتيقها لاحقا. تنتج اعلى مقاومة و صلادة عند تعتيق السبيكة المدرفلة على البارد بنسبة عالية (Full Hard). اما التشكيل بنسبة اقل فيكون غير ذي فائدة وذلك لان نتيجة التشكيل تكون ضعيفة وتكون السيطرة على عملية التعتيق فيما بعد للحصول على اعلى مقاومة غير دقيقة. ويبين الشكل (5-7) العلاقة بين الزمن ودرجة حرارة التعتيق للحصول على اعلى مقاومة للسبيكة



الخواص الميكانيكية للسبيكة المذكورة عند التعتيق بظروف مختلفة. اما الجدول (4-7) فيبين بعض

يمكن ان تعتق سبيكة النحاس بريليوم في اية درجة حرارية ولكن ضمن حدود مدى التعتيق. ويؤثر ذلك التغير في درجة الحرارة على الزمن اللازم للحصول على اعلى مقاومة للسبيكة. كما ان زيادة درجة الحرارة تقلل من اعلى مقاومة يمكن الحصول عليها عند الدرجة الحرارية المثلى حيث يجب ان تتم السيطرة على درجة الحرارة بسماع مقداره ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ) من الدرجة المفضلة والتي تقع عادة بين ( $315-370^\circ\text{C}$ ). ان الزيادة النسبية في درجة حرارة التعتيق تبطل تاثير التشكيل البارد الى حد ما ومن ثم تتطلب زمناً قليلاً عند تلك الدرجة الحرارية. ان المعالجة المحلولة عند درجة حرارة واطنة قد تؤدي الى تكوين مقاس حبيبي صغير ولكن عندما تكون درجة حرارة التعامل المحلولي اوطىء بكثير من ان تحدث ذوبانا كاملاً للطور ذو محتوى البريليوم العالي، فان الاستجابة للتعتيق ستكون قليلة ومن ثم تلغى الفائدة الناتجة عن المقاس الحبيبي الناعم. ولهذا السبب فان المقاس الحبيبي الاصغر من  $0.015\text{mm}$  غير عملي لمنتجات سبائك النحاس بريليوم. حيث ان المعدل المعتاد من الناحية العملية للمقاس الحبيبي هو ( $0.015-0.06\text{mm}$ ).



الشكل (5-7)

العلاقة بين درجة الحرارة وزمن التعتيق للحصول على مقادير مختلفة من المقاومة و عند نسب تشكيل مختلفة.



### جدول (4-7)

يبين بعض الخواص الميكانيكية للسبيكة [Cu97.7Be1.9(Co+Ni)0.4] عند ظروف تعتيق مختلفة.

رمز الحالة	درجة حرارة التعتيق °C	الحالة الميتالورجية	مقاومة الشد MPa	المطيلية %	الصلادة HRC	زمن التعتيق min
TF00	315	تلدين كامل	1140-1310	4 - 10	35-40	180
TF00	370	تلدين كامل	1105-1310	3 - 10	34-40	30
TH02	315	[نصف تصليد]	1275-1450	2-5	39-44	120
TH02	370	[تشكيل متوسط]	1240-1450	2-5	38-44	15
TH04	315	[تصليد كامل]	1310-1480	1-4	40-45	120
TH04	370	[تشكيل عال]	1275-1480	1-4	39-45	15

### ب- سبيكة النحاس - نيكل - فسفور

تستخدم السبائك التي تحتوي على حوالي 1% نيكل وحوالي 0.25% فسفور في الاجزاء الصغيرة المختلفة ذات المقاومة العالية كالتوابض والوصلات الكهربائية والملاقط وغيرها. تعالج السبيكة (Cu-Fe0.1Ni1.2Zn0.8P0.25) محلوليا عند درجة حرارة بين (700-800°C) ويجو مختزل او متعادل (خصوصا عند تسخين مقاطع نحيفة) لمنع حصول الاكسدة الداخلية. ويستخدم الماء في عملية الاتحاد (Quenching). وعند تلدين المعدن بين مراحل التشكيل البارد التي تسبق عملية التعتيق فان درجة الحرارة يجب ان تكون قريبة من 620°C، وهنا تنتفي الحاجة الى الاتحاد. اما عند اجراء التعتيق فان درجة الحرارة تكون بين 425 °C و 475 °C ولمدة ساعة الى ثلاث ساعات.

## ج - سبيكة النحاس - كروم:

تعالج سبيكة النحاس الحاوية على حوالي 1% كروم محلوليا عند درجة حرارة بحدود ( $950-1010^{\circ}\text{C}$ ) وتخمّد عادة في منصهر ملحي او قد تجرى في افران ذات جو من غاز خامل لمنع حصول الاكسدة الداخلية والتقشر.

تكون سبيكة النحاس كروم المعالجة محلوليا لينة (Soft) وذات مطيلية عالية بحيث يمكن تشكيلها على البارد، كما في حالة معدن النحاس، وتجرى عملية التعتيق لهذه السبيكة عند درجة حرارة بحدود ( $400-500^{\circ}\text{C}$ ) ولعدة ساعات للحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة. اما لو اريد اجراء تعتيق نموذجي فيكون عند درجة حرارة  $455^{\circ}\text{C}$  ولمدة اربع ساعات.

## د- سبيكة نحاس زركونيوم:

تعالج سبيكة النحاس زركونيوم ( $\text{Cu}_{99.8}\text{Zr}_{0.2}$ ) محلوليا عند درجة حرارة تتراوح بين ( $900-925^{\circ}\text{C}$ ) ثم تبرّد (تخمّد) بالماء. ويفضل تقليل وقت المعالجة المحلولية مهما امكن وذلك لمنع حصول نمو في الحبيبات ومنع حدوث الاكسدة الداخلية من خلال تفاعل الزركونيوم مع جو الفرن. ولكون انتشار الزركونيوم وتفاعله يحدث بسرعة خلال فترة المعالجة المحلولية، فان ابقاء السبيكة لفترة اكثر من اللازم عند هذه الدرجة الحرارية غير مناسب. وتجرى عملية التعتيق عند درجة حرارة تتراوح بين ( $500-550^{\circ}\text{C}$ ) ولمدة ساعة الى اربع ساعات. اما اذا كان المعدن قد شكل على البارد ثم عولج محلوليا فان درجة حرارة التعتيق تنخفض الى حدود ( $375-475^{\circ}\text{C}$ ).

يتم الحصول على اعلى مقاومة للسبيكة عندما يدخل كل الزركونيوم الموجود في السبيكة في المحلول الجامد خلال عملية المعالجة المحلولية. وفي حالة احتواء السبيكة على اكثر من 0.15% زركونيوم فيلزم تسخينها الى حوالي  $975^{\circ}\text{C}$  حيث يبدأ الطور  $\text{Cu}_3\text{Zr}$  بالانصهار، حيث ان الانصهار القليل لا يؤثر على الخواص الميكانيكية الا في حالة زيادة الكمية المنصهرة فان مطيلية المعدن بالتالي ستقل. وفي حالة زيادة درجة حرارة المعالجة المحلولية عن  $900^{\circ}\text{C}$ ، فان درجة حرارة التعتيق ستزداد ايضا للحصول على توصيلية

عالية. ان عملية التعتيق التالية (جدول 5-7) تعطي افضل خواص ميكانيكية وتوصيلية كهربائية.

جدول (5-7)

حالة المعالجة وظروف التعتيق لسبيكة النحاس زركونيوم.

درجة حرارة وزمن التعتيق	الحالة
h3 عند 500°C	معالجة محلولية عند 900°C
h3 عند 400 °C	معالجة محلولية عند 900 °C مع تشكيل على البارد
h3 عند 550°C	معالجة محلولية عند 975 °C
h3 عند 450 °C	معالجة محلولية عند 975 °C مع تشكيل على البارد

ان المقاومة العالية لسبيكة النحاس زركونيوم تعتمد على التشكيل البارد بالاضافة الى عملية التعتيق للحصول على مقاومة اضافية الا انه تحصل زيادة في التوصيلية الكهربائية بعد عملية التعتيق وذلك بسبب خروج عدد كبير من ذرات المذاب من المحلول الجامد لتكوين المركب الكيميائي، على سبيل المثال.

هـ- برونز الالمنيوم (الفا):

ان البنية وقابلية السبيكة على المعالجة الحرارية تختلف اختلافا كبيرا باختلاف مكوناتها. فسبيكة برونز الالمنيوم ذات الطور الفا والمحتوية على نحاس والمنيوم الى 9 % تقريبا يمكن ان تصلد عن طريق التشكيل البارد فقط. كما يمكن ان تصغر حبيباتها عند تلدينها بدرجة حرارة (425-760°C). لذلك فالسبائك احادية الطور المكونة من معدنين كسبيكة (Cu95 Al5) و (Cu92 Al 8) لا يمكن تصليدها بالتعتيق. ان اضافة بعض العناصر كالكوبلت (Co) والنيكل (Ni) تؤدي الى امكانية تعتيق هذه السبائك. ان زيادة صلادة بعض السبائك القابلة للتعتيق يمكن ان تتم مع التشكيل البارد الذي يسبق عملية التعتيق.

## 7-2-8 التصليد التحويلي Transformation Hardening

يحدث هذا النوع من التصليد غالبا في برونزيات الالمنيوم ذات الطورين وذلك عن طريق اخماد السبيكة من درجة حرارية عالية للحصول على بنية المحلول الجامد فوق الاشباع والمعروف بالمارتنساييت (Martensite) ثم تراجع عند درجة حرارة منخفضة نسبيا للتخفيف من الاجهادات الداخلية ومن ثم ارجاع مطيلية ومثانة السبيكة الى مقدار لا بأس به.

سبيكة برونز الالمنيوم ثنائية الطور (Double Phase Aluminum Bronze) تتضمن بنية هذه السبيكة على طورين ثابتين في درجة حرارة الغرفة عند نسبة المنيوم تتراوح بين (9.5-16%). وعندما تضاف بعض العناصر الاخرى، غالبا الحديد، بنسبة (1-5%) فان نسبة الالمنيوم في السبيكة ثنائية الطور تكون (8-14%). ويمكن لأي من السبائك ثنائية الطور ان تصلد بالاخماد (Quenching) ومن ثم اعادة تسخينها عند درجة حرارة واطئة نسبيا كما مر ذكره. تتحول السبيكة ذات الطورين، عند درجة حرارة الغرفة، الى بنية طور واحد (بيتا) عند رفع درجة حرارتها الى ما بين (815-1010°C) تماما كما يتحول الفولاذ الكربوني (Plain Carbon Steel) المحتوي على الطورين (Ferrite+Fe<sub>3</sub>C) الى المحلول الجامد الاوستنايت (Austenite) عند رفعه فوق درجة الحرارة Ac<sub>1</sub>. ان التبريد السريع ينتج معدن هش عالي الصلادة نتيجة لتكوين الطور شبه المستقر (Metastable) والذي تشبه بنيته بنية المارتنساييت. ويستخدم لعملية الاخماد الماء او زيت المحركات المستخدم. ان تليين المعدن عند درجة حرارة (595-650°C) ولمدة ساعتين يؤدي الى ترسب الطور الفا الابري الشكل في ارضية من المارتنساييت حيث تقل عندئذ الصلادة وتزداد المطيلية والمثانة. ويتم الاخماد، في المقاطع كبيرة الحجم، باستخدام تيار هوائي (مراوح) او رذاذ الماء، من درجة حرارة التليين (Softening Temperature) تجنباً لتحول الطور بيتا اللين الى البنية الحرجة من رقائق او عقد الفا- كما 2.



ان سبائك برونز الالمنيوم النيكلي، بالرغم من انها ذات بنية معقدة الا انها تستجيب للمعالجات الحرارية وذلك بالاختاد ثم التلين بنفس الطريقة انفة الذكر حيث يتكون طور اخر في البنية هو (كابا) ويمثل برلايت خشن في بلورات الفا اضافة الى بلورات بيتا المستقرة. ان بعض السبائك المحتوية على النيكل مثل ( $\text{Cu}_{82}\text{Al}_{10}\text{Ni}_5\text{Fe}_3$ ) و ( $\text{Cu}_{81}\text{Al}_{11}\text{Ni}_4\text{Fe}_4$ ) تخمد للحصول على اعلى صلادة ومن الطبيعي ان تكون معرضة اكثر لحدوث التشققات خاصة في الاجزاء الكبيرة المعقدة الشكل ويفضل في هذه الحالة الاختاد بالزيت. تعامل سبائك برونز الالمنيوم ثنائية الطور المسبوكة حراريا بالتسخين عند  $815^\circ\text{C}$  وتبرد بالفرن الى  $550^\circ\text{C}$  ثم تبرد بالهواء الى درجة حرارة الغرفة. وبهذه الطريقة يتم تجانس السبيكة في البنية والخواص اضافة الى تحسن قابليتها على التشكيل.

ان حدوث اختلاف بدرجات الحرارة بمقدار ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ) خلال المعالجات الحرارية لسبيكة برونز الالمنيوم لا تؤثر على الخواص النهائية. الا ان زيادة درجة الحرارة قد تزيد المقاس الحبيبي لها ومن ثم تقلل من مقاومتها. اما بالنسبة للسبائك احادية الطور فان درجة حرارة التلدين حرجية وهي حوالي  $650^\circ\text{C}$ . ولا يؤثر جو الفرن بصفة عامة على عملية التلدين وذلك لتكون طبقة من اوكسيد الالمنيوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) على سطح السبيكة تعمل كحماية له.

## 7-2-9 التحلل المغزلي (Spinodal Decomposition)

تمثل عملية التصليد التي تحدث في بعض سبائك النحاس، على سبيل المثال، ( $\text{Cu}_{67.2}\text{Ni}_{30}\text{Cr}_{2.8}$ ) حيث يتكون هذا النوع من البنية الذي يظهر منطقة اللاتمازج (Miscibility Gap) في حالة الاستقرار او عدم الاستقرار والتي تمتلك ذرات السبيكة حركة كافية عند درجة حرارة المعالجة.

تتكون البنية المغزلية عندما تكون السبيكة المعينة متجانسة عند درجة حرارة اعلى من منطقة اللاتمازج ولوقت كاف عندما تكون البنية مستقرة. وعند تبريد السبيكة بسرعة الى درجة حرارة اقل من منطقة اللاتمازج وتبقى عندها يبدأ عندئذ التحلل المغزلي بمعدل



يسيطر عليه سرعة انتشار الذرات. وقد يحدث التحلل المغزلي اثناء عملية التبريد المستمر من درجة حرارة التجانس الى درجة حرارة الغرفة عندما يكون انتشار الذرات سريعاً ومعدل التبريد بطيئاً.

## 7-2-10 التصليد المنتظم (Order Hardening)

تتعرض بعض السبائك الخاصة، وبصورة عامة تلك التي تكون مشبعة تقريبا بعناصر سببكية مذابة في الطور الفأ، الى هذا النوع من التفاعل (المنتظم) عندما تلدن السبيكة المشكلة على البارد بنسبة عالية. ومن السبائك التي تسلك هذا السلوك (Cu90Al8Ni2) و (Cu95Al 2.8Si1.8Co0.4) و (Cu73.5Zn22.7Al 3.4Co 0.4) و (Cu73.3Zn22.7Al 3.4 Ni 0.6) وتعزى زيادة مقاومتها الى المدى القصير (Short Range Order) لترتيب ذرات المعادن السببكية خلال بنية النحاس والتي تعيق عملية انزلاق الانخلاعات في الشبكة البلورية.

ان الدرجة الحرارية الواطئة للتلدين الذي يؤدي الى التفاعل المنتظم يعتبر عملية ازالة للإجهادات ايضا والتي تزيد من مقاومة الخضوع عن طريق تقليل تركيز الاجهادات الداخلية في الشبكة البلورية. وكتيجة فان التلدين المنتظم للسبيكة يؤدي الى تحسن في خواصها.

تجرى عملية التلدين المنتظم خلال وقت قصير وبدرجة حرارة واطئة نسبيا اي بحدود (150-400°C) ولكون درجة الحرارة واطئة فلا حاجة لجو فرن واق. وتتم عملية التصليد المنتظم بعد عملية التصنيع النهائية وذلك للحصول على افضل حالة من ازالة الاجهادات مصاحبة لهذه العملية خصوصا عندما تكون ازالة الاجهادات مطلوبة.

## 7-2-11 التصليد المجهري المزدوج (Microduplex Hardening)

ويحدث هذا النوع من التصليد لبعض سبائك النحاس الخاصة التي تصنع لتحقيق بنية ثنائية الطور والتي يكون فيها كلا الطورين مستقرين او شبه مستقرين عند درجة حرارة الغرفة او اعلى من ذلك بقليل. وفي البنية المجهرية المزدوجة يمكن السيطرة على السلوك الميكانيكي للسبيكة، ولذلك فان البنية ثنائية الطور تعتبر متفوقة على الاحادية

الطور بسبب امكانية تغيير نسبة كل طور في السبيكة والتي تنعكس على خواصها الميكانيكية. تكون بنية هذه السبيكة ناعمة (صغيرة) المقاس الحبيبي (اقل من  $10\ \mu\text{m}$ ) مع تحسن ملحوظ في مقاومة السبيكة ومن دون التفريط بمطيليتها مقارنة بنفس السبيكة التي لايجرى لها التصليد المزدوج الدقيق.



## **الفصل الثامن**

### **العيوب التصنيعية في المنتجات**





## الفصل الثامن

### العيوب التصنيعية في المنتجات

تحدث من جراء تصنيع المعادن عيوب تصنيعية مختلفة، تعد التقنية المستخدمة هي السبب الاكبر في حصول مثل هذه العيوب في حين يعتبر المعدن وتكوينه الكيميائي السبب الاخر من اسباب حدوث هذه العيوب اضافة الى عوامل اخرى تكون احيانا سببا في حدوثها حيث سيتم التطرق اليها بالتتابع. ومن هذه العيوب ما هي عيوب سباكة او عيوب درفلة او بثق او سحب وحسب طبيعة المنتج والعمليات التصنيعية التي تجرى عليه.

#### 8-1 عيوب السباكة Casting Defects

من المؤكد ان الانتباه اثناء جميع مراحل السباكة ابتداء من تحضير الشحنة وحتى نهاية سكب المعدن امر ضروري لتجنب وقوع اي عيب من عيوب السباكة. علما بان نوعية المنتج المسبوك تتأثر بعدد من العوامل والتي تشمل ما ياتي:

#### 8-1-1 تصميم قالب السكب (الصب) Mould Design

ان لتصميم قالب السكب وحالته من حيث جودة السطح وطريقة التبريد المستخدمة والتي لها علاقة وثيقة بمعدل تبريد اجزاء المسبوكة تاثير كبير على نوعية بنية المعدن (Microstructure).

#### 8-1-2 الصهر Melting

ان للعوامل المصاحبة لعملية الصهر، من حيث درجة حرارة المعدن المنصهر وزمن حفظ المعدن في الافران والعُدد والادوات المستخدمة في عملية ازالة الخبث ومدى نظافة الافران ومجرى المعدن المنصهر اضافة الى علاقة ذلك بالمكونات الكيميائية ونسب الشوائب والمكونات المضافة والمفقودة كتبخري بعض العناصر على شكل اكاسيد، كما في

حالة، تبخر أو أكسيد الخارصين (ZnO) خلال صهر سبائك البراص، على سبيل المثال، أثر في تواجد العيوب أو عدمه.

### 8-1-3 السكب (الصب) Casting

ويشمل عملية السكب وتأثيراتها على عيوب السبائك الداخلية كما في تأثير سرعة السكب كظهور الفقاعات، وكذلك تسرب بعض المواد غير المعدنية إلى داخل المعدن المسبوك كما يحصل في سقوط بعض المسالك (المصببات) (Down Stops) أو الأكواب الموجهة، إضافة إلى تصميم المصببات والتي تؤثر بدورها على بنية المعدن المسبوك والعيوب الداخلية.

### 8-1-4 مكونات الشحنة (Charge Components)

تؤثر مكونات الشحنة في سبائك النحاس تأثيراً كبيراً وذلك لمحدودية نسب الشوائب المسموح بتواجدها. حيث تؤثر على تكوينها الكيميائي والمجهري وخواصها الأخرى. ويلزم خلو الخرقة (السكراب) من أية شوائب مضرّة إضافة إلى نظافتها من الدهون والزيوت التي تسبب الفقاعات الداخلية في المسبوك. يمكن تقسيم عيوب السبائك إلى نوعين هما:

- أ- عيوب سطحية يمكن الكشف عنها بالعين المجردة ومنها الشقوق والخزوز والتقرّ وغيرها. حيث يتحكم تأثيرها في نوعية المنتج من خلال الخواص المطلوبة ومدى تأثير هذه العيوب في العمليات الانتاجية اللاحقة، وحسب عمقها وإمكانية اختفائها أثناء عملية التشكيل والتشغيل.
  - ب- عيوب داخلية لا يمكن تحديدها بالنظر وتحديد عن طريق الفحوص اللا إتلافية (Nondestructive Testings)، ومن هذه العيوب الفقاعات والمسامية وتواجد الأجزاء غير المعدنية أو غير الذائبة في المحلول الجامد.
- ومن عيوب السبائك المستمرة ما يأتي:
- 1- الخزوز السطحية الناتجة عن الحركة الاهتزازية السريعة للقالب.

- 2- التصاق رقائق معدنية قشرية (Swarfs) على سطح القالب يسبب عيوب سطحية على شكل قشور على سطح المعدن.
- 3- ثنيات وتراكبات (Laps) على سطح المسبوكه ناتج عن عدم انتظام عملية السكب بسبب قلة الخبرة للعاملين في مجال السباكة.
- 4- عيوب ناتجة عن عدم التوازن بين معدل التبريد الثانوي (Secondary Cooling) ومعدل سحب او اخراج المسبوكه (Metal Withdrawal Rate).
- 5- تشققات داخلية (Internal Cracks) وتولد نتيجة لشدة التبريد الثانوي والذي يسبب تقلصا غير منتظم (Uneven Contraction) للمعدن ينتج عنه اجهادات داخلية (Internal Stresses) تولد هذه التشققات.
- 6- مسامية داخلية (Internal Porosity) سببها عدم كفاية التبريد الثانوي او ان معدل سحب المعدن يكون سريع جدا.

## 8- 2 التكوين الكيميائي (Chemical Composition)

يمثل التكوين الكيميائي الاساس في قبول او رفض اية مسبوكه على قاعدة ان كل سبيكة تتكون من مجموعة من العناصر الاساسية (Principal Alloying Elements) والشوائب (Impurities) علما بان عناصر كلا المجموعتين محددة بنسب تمثل الحد الاعلى والادنى وكما ورد ذكره في فصل سبائك النحاس.

ويتم اجراء عملية التحليل الكيميائي لعينة من المعدن المنصهر، بعد اخذها وتهيئتها، قبل السكب وعند التأكد من مطابقتها كما هو مطلوب من التكوين الكيميائي تتم عملية السكب (الصب) وبعبكسه تتم معالجة التكوين الكيميائي للمنصهر حتى الوصول الى احدى الحالتين اما القبول او الرفض ان لم تمكن المعالجة.

تتم عملية التحليل الكيميائي عادة اما بعملية الامتصاص الذري (Atomic Absorption) او بواسطة الاشعة السينية المتألقة (Fluorescent X-rays)، وتدعى هذه

الاجهزة باجهزة التحليل الطيفي او المطاييف (Spectrometers)، وتستخدم اجهزة الانبعاث الضوئي (Photo Emission) لتحليل سبائك البراص والبرونز عادة.

### 8- 3 عيوب الدرفلة (Rolling Defects)

نظرا لكون نسبة المساحة السطحية الى الحجم، في عمليات الدرفلة، كبيرة فان حالة السطح خلال جميع مراحل الدرفلة لها اهمية قصوى، ونتيجة لتاثير عوامل كثيرة في حدوث العيوب السطحية فانه يمكن تمييز عيوب الدرفلة الحارة عن عيوب الدرفلة الباردة نظرا لوجود بعض العوامل المختلفة كعملية تسخين المسبوكة ونوع الماكينة وغيرها.

### 8- 3- 1 عيوب الدرفلة الحارة (Hot Rolling Defects)

نظرا لارتفاع درجة حرارة المعدن تحت الدرفلة فانها قد تكون عاملا مؤثرا في ظهور العيوب اضافة الى العوامل التشكيلية الاخرى، ويمكن تعداد بعض عيوب الدرفلة:

1- سطح خشن (Rough or Pitted Surface) ناتج عن درفلة المعدن بتواجد قشور الاكاسيد المعدنية على السطح.

2- الشظايا (Slivers)، وهذه العيوب عبارة عن قطع معدنية تلتصق بسطح المعدن المدرفل من احدى نهايتيه وتكون ذات شكل مستطيل وغالبا ما تتحد مع القشور المغمورة (Embedded Scales).

3- فجوات طولية على شكل قصبات (Reeds) وهي عيوب ناتجة عن ثقب صغيرة في السطح المسبوك او بالقرب منه تستطيل اثناء الدرفلة.

4- ثنيات وندب (Seams) وتمثل ثقب كبيرة نسبيا مؤكسدة والتي لا تلتحم سطوحها اثناء الدرفلة وتأخذ شكلها الطولي اثناء العملية مما يؤدي الى تكون تشققات ضيقة ومتوازية (Fissures).

5- تراكب طبقات (Laps) ناتج عن تكون زوائد رقيقة (Flashes) اثناء درفلة المقاطع لان المعدن ينساب عرضيا اكثر مما ينبغي مكونا ما يشبه الزعانف والتي تتأكسد بسبب ارتفاع درجة الحرارة، وخلال تقدم مراحل الدرفلة يتم درفلتها على



- سطح المعدن المدرفل تاركة تشققات بينها وبين بقية اجزاء المعدن وغالبا ما تحصل بسبب عدم دقة حساب وتصميم مراحل الدرفلة.
- 6- الهشاشة الساخنة (Hot Shortness) وهذا العيب يحدث اثناء عملية الدرفلة الحارة في السبائك الحاوية في تكوينها على عنصر ذي درجة انصهار منخفضة (اقل من درجة حرارة الدرفلة) والذي يكون موجود، في الحالة السائلة، على الحدود البلورية مسببا تشقق السبيكة.
- 7- كبر المقاس البلوري (Coarse Grains) في المنتج النهائي بسبب ارتفاع درجة حرارة السبيكة في المرحلة الاخيرة للدرفلة (Final Pass Of Rolling) مما يؤدي الى النمو البلوري.
- 8- تكسر المعدن في حالة وجود فرق في درجات الحرارة بين سطح المسبوكة ومركزها (Core) قبل البدء بعملية الدرفلة خصوصا عندما يكون التخفيض في السمك في اول مرحلة درفلة كبيرا. ومن الممكن منع حدوث التشقق اثناء عملية تبريد المعدن المدرفل، خصوصا للمقاطع الكبيرة، وذلك باجراء تبريد تدريجي او بطيء.
- 8- 3- 2 عيوب الدرفلة الباردة (Cold Rolling Defects)
- وفيما ياتي بعض العيوب التي تظهر اثناء الدرفلة الباردة:
- 1- الخدوش المتولدة نتيجة لاستخدام مدرفلات (Rolls) او موجهات (Guides) معابة.
- 2- تشققات ناتجة عن زيادة نسبة التشكيل عن الحدود التي يتحملها المعدن. ويمكن الحد من ذلك باجراء عملية التشكيل وفي حدود تحمل المعدن وحسب المواصفات والخواص المطلوبة.
- 3- الهشاشة الباردة (Cold Shortness) اي عدم امكانية الدرفلة على البارد نتيجة لوجود ترسبات هشة على الحدود البلورية.



4- الاختلاف في سمك الصفائح المدرفلة وعلى طول المنتج باتجاه الدرفلة بسبب السرعة المتغيرة او زيادة الشد على المعدن المراد درفلته، وذلك نتيجة للاختلاف الموجود في سمك المعدن الداخلى الى المدرفلات وصلادته وينتج عن ذلك معدن متغير السمك اضافة الى الانعكاس السليبي على دورانية المدرفلات المستخدمة. وتستخدم، لغرض الدقة في انتظام السمك، اجهزة تعمل آليا في تحديد قيمة السمك وكذلك تصحيح السمك عن طريق الايعاز الى المنظومة لتغيير المسافة بين المدرفلات. وقد يكون الاختلاف في السمك في الاتجاه العمودي على اتجاه الدرفلة ناتج عن مقدار الانحناء (Deflection) الحاصل في المدرفلات من جراء الحمل اذ ينتج عن ذلك شريحة ذات سمك اعلى في الوسط مما هو عليه عند طرفي المنتج. وتتم معالجة ذلك باستخدام مدرفلات ذات تحدب اكبر نسبيا او مدرفلات سائدة اضافة كما مر ذكره.

#### 8- 4 عيوب البثق المباشر (Direct Extrusion Defects)

اضافة الى العيوب والخلل (Flaws) الناتجة في عمليات السباكة، فان المنتجات المبتوقة قد تعاني من العيوب الآتية:

#### 8- 4- 1 التشقق السطحي (Surface Cracking)

ويحصل عندما تتم عملية البثق بسرعة عالية جدا، او عند ارتفاع درجة حرارة البثق، وفي كلتا الحالتين يعني ان التزيت غير كافٍ ويلتصق عندئذ المعدن على القالب.

#### 8- 4- 2 الاختلاف في بنية المعدن وخواصه

بسبب النسب المختلفة في مقدار التشكيل في المناطق المشكلة المختلفة (Deformation Zones). وحيث ان المعدن اذ يتعرض الى نسبة قليلة من التشكيل في مقدمته فانه يحافظ على بنية قريبة من بنية المسبوكة نفسها. وبما ان نسبة التشكيل عادة اكبر في المنطقة الخارجية للمقطع مما هي عليه في قلب القضيب المبتوق، فانه يحصل تشكيل بارد نسبيا قرب السطح بالرغم من ان التشكيل اثناء عملية البثق الساخن

يتم فوق درجة حرارة إعادة التبلور، وذلك لأن معدل التشكيل كبير إلى درجة أن معدل التبلور يكون أصغر بكثير من معدل التشكيل وأن المعدن سوف لا يمكث الوقت الطويل عند درجة حرارة إعادة التبلور بعد العملية للسماح للجزء المشكل تشكيلا باردا نسبيا ليتبلور، وعليه فإن أي منطقة متعرضة لنسبة صغيرة من التشكيل البارد نسبيا قد تولد حبيبات كبيرة عند إعادة التسخين إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور.

8- 4- 3 عيوب النهايات (Back End Defects) وتسمى عيوب البثق (Extrusion Defects)

والتي تظهر نتيجة للانسياب الخاص بالمعدن أثناء عملية البثق المباشر. إذ تتحرك القشرة الخارجية للمعدن والأكاسيد المتجمعة عليها، أثناء عملية البثق، إلى الداخل وإلى الأمام مما قد ينتج عن ذلك دخول الأكاسيد إلى داخل المعدن المبثوق. وأحيانا تتكون حلقة كاملة من طبقة الأوكسيد حول قلب المعدن المبثوق تفصله تماما عن الخارج. ويمكن الحد من عيب النهايات باتباع ما يأتي:

أ- زيادة طول الفضلة وحسب قطر وطول المسبوكة والمنتج المطلوب، أو تقليل الاحتكاك بين سطح المسبوكة والحاوية.

ب- البثق باستخدام قرص بثق ذي قطر أصغر من قطر الحاوية إذ يتم ترك القشرة الحاوية على هذه العيوب على أن تتم إزالتها في المراحل اللاحقة. أو تشغيل سطح المسبوكة بالخراطة ثم تسخينها في جو واق.

ج- اختلاف خواص المنتج المبثوق في المناطق المختلفة ابتداء من بدايته وحتى نهايته بسبب اختلاف درجات الحرارة الناتجة عن فقدان الحرارة في الحاوية و الحرارة الناتجة عن عملية التشكيل. ويظهر هذا الاختلاف في السبائك الحساسة وهو أقل وضوحا في النحاس. ومن أفضل الحلول لهذا العيب هو استخدام قوالب ذات دخول مخروطي لتحقيق تشكيل أكثر انتظاما.

## 8- 5 عيوب عملية السحب (Drawing Defects)

يجب ان يكون المعدن الناتج من البثق نظيف السطح وخاليا من اي نوع من انواع المواد العالقة به ويكون ذلك مهم لعملية السحب لمنع تغلغل هذه المواد الى داخل المعدن اثناء عملية السحب وتجنب التصاقها على السطح ومن الممكن ملاحظة بعض من العيوب السطحية وهي:

### 8- 5- 1 خطوط طولية (كخدوش سطحية)

ناتجة عن استخدام قالب محرز او مخدوش (Scored Die) او عدم كفاية التزييت او بسبب مواد خشنة تنسحب الى القالب مع المعدن المجهز كدقائق الاتربة والبلورات الرملية وغيرها.

### 8- 5- 2 الشظايا (Slivers)

الناتجة عن سحب قطع من النحاتة (الرايش) وصيرورتها بين قالب السحب والمعدن المسحوب.

### 8- 5- 3 شقوق او طيات طولية (Long Fissures)

ويكون مصدرها عيوب السباكة كالفقاعات والتشققات الداخلية الناتجة عن وجود عيوب في المعدن قبل البثق او تكسر مركزي في المعدن نتيجة لسحب المعدن بنسبة تشكيل كبيرة اكبر مما يتحملة المعدن وتسمى (Cupping).

### 8- 5- 4 وجود اجهادات داخلية في المعدن المسحوب

والتي تكون سببا لحصول احد انواع التآكل كالتآكل الاجهادي (Stress-Corrosion) وتتم معالجة ذلك باجراء عملية ازالة للاجهادات.

### 8- 5- 5 عيب سطحي يبدو فيه السطح كقشرة البرتقال (Orange Peel)

سببه تشكيل كبير لمعدن ذو بلورات خشنة (Coarse Grains) وحسب انظمة الانزلاق (Slip Systems) البلورية المتوفرة، وعددها وكذلك الزيادة المفرطة لسائل التبريد.

## 8- 6 عيوب السحب العميق ( Deep Drawing Defects )

ومن عيوب عملية السحب العميق ما يأتي:-

1-6-8 خدوش عمودية بشكل خطوط على المنتج ( Vertical Scores ) سببها اما خشونة سطح المعدن او القالب او دخول بعض الدقائق المعدنية الخارجية او الاتربة او نتيجة لعدم ملائمة سائل التبريد.

2-6-8 ثنيات وتجعدات على حافة المنتج ( Wrinkles ) بسبب عدم كفاية الضغط على المعدن من قبل الماسكات او عدم تساوي سمك المعدن.

3-6-8 بريق ولمعان على سطح المعدن ( Burnished Area ) وتكون نتيجة صغر الخلوص ( Clearance ) بين القالب والسنبك (الدافع).

4-6-8 عدم انتظام ارتفاع جدار الظرف و سمك الجدار بسبب عدم انتظام مركزية السنبك مع القالب.

5-6-8 ظاهرة الاقراط ( Earrings ) وهي اختلاف ارتفاع محيط نهاية الفنجان او الانبوب بين نقطة واخرى نتيجة لعدم تجانس خواص القرص، قبل السحب، بسبب وجود الاتجاه البلوري التفضيلي ( Preferred Orientation ) او النسيجية ( Texture ) والذي يؤدي الى تباين ( Anisotropy ) في الخواص الميكانيكية بالاتجاهات المختلفة.

6-6-8 خشونة السطح وتكون قشر البرتقال ( Orange Peel ) بسبب كبر المقاس الحبيبي نسبيا وكلما كان المقاس الحبيبي (البلوري) اكبر كانت الخشونة اكبر.





## **الفصل التاسع**

### **تشغيل النحاس وسبائكه**

Machining of Copper and Its Alloys



## الفصل التاسع

### تشغيل النحاس وسبائكه

#### Machining of Copper and Its Alloys

##### مقدمة:

ان من اهم خواص النحاس وسبائكه هي قابلية التشغيل (Machinability) والتي تحددها العوامل الآتية:

1. مقاس النحاة (الرايش) (Chip Size)
  2. الانهاء السطحي (Surface Finish)
  3. الطاقة اللازمة للتشغيل (Power Required)
- وبالاعتماد على قابلية النحاس وسبائكه على التشغيل واختلافها من سبيكة الى اخرى يمكن تقسيمها الى ثلاث مجاميع وهي:

- 1- المجموعة الاولى: ذات قابلية ممتازة على التشغيل (Free Cutting)
  - 2- المجموعة الثانية: ذات قابلية جيدة على التشغيل (Readily Machinable)
  - 3- المجموعة الثالثة: ذات قابلية ضعيفة على التشغيل (Difficult to Machine)
- كما سيأتي تفصيل هذا التصنيف في الجداول (1-9) و (2-9) و (3-9). حيث اعتمدت ظروف التشغيل من معدل تغذية (Feeding Rate) وسرعة قطع (Cutting Speed) وعمق القطع (Cutting Depth) وزوايا العدة (Tool Angle)، باعتبار ان عدد (سكاكين) القطع المستخدمة مصنوعة من الصلب الكربوني و صلب (فولاذ) السرعات العالية (High Speed Steel) وعدد كاربيدية (Carbide Inserts).

## 9- 1 تأثير التكوين الكيميائي على التشغيل

Effect of chemical composition on machinability

تعتبر سبائك النحاس - خارصين (البراص) من السبائك السهلة التشغيل والمتعددة التطبيقات وهي كذلك فعلا. ولكن لا توجد سبيكة تفي بكل المتطلبات في آن واحد وبناء على ذلك فقد تمكن خبراء ومهندسي المعادن من تطوير سلسلة من سبائك النحاس والتي تشمل انواع البراص والبرونز والتي تسهل مهمة مهندس التصميم بمجال اوسع من التطبيقات. وبإضافة عنصر او اكثر وينسب محددة يمكن تحسين خواص السبيكة كزيادة المقاومة (Strength) او تحسين مقاومة البلي (Wear Resistance) او التاكسد (Oxidation) او التاكل (Corrosion) وقابلية اللحام او التشغيل وغيرها من الخواص الاخرى. وبناء على ذلك نجد اختلافا في قابلية التشغيل من سبيكة الى اخرى وحسب التصنيف آنف الذكر. وسيتم تناول عمليات التشغيل المعروفة كالخراطة (Turning) والتفريز (Milling) والتثقيب (Drilling) والقطع (Cutting) وتوسيع الثقوب (Reaming) وعمليات القطع بالعدد (السكاكين) المشكلة.

ان سبائك البراص - رصاص ذات قابلية عالية على التشغيل اذ ان اضافة الرصاص بحدود (3wt%) الى سبيكة البراص (40-60) يجعل السبيكة ذات قابلية عالية جدا على التشغيل. حيث تعتبر السبيكة براص - رصاص 3 ذات قابلية قياسية على التشغيل تقدر ب(100%).

تمتاز هذه السبيكة بانه يمكن تشغيلها بسرعة قطع عالية مع نسبة بلي (Wear) قليلة لعدد (سكاكين) القطع ومقاسات صغيرة من النحانة (Chip) وهناك سبيكة اخرى ذات قابلية اعلى على التشغيل تبلغ 150 % وهي سبيكة براص - رصاص 4. ويمكن تقسيم السبائك النحاسية الى ثلاث مجاميع هي كما اسلفنا:

## 9- 1- 1 المجموعة الاولى: السبائك ذات القابلية الممتازة على التشغيل.

وتتراوح قابلية التشغيل لهذه المجموعة بين 70-150%. وتشمل سبائك النحاس مع اضافات من الرصاص والكبريت والتلييوم والسيلينيوم وانواع البراص والبرونز الحاوية على نسب من الرصاص (والتي تُنتج بسبائك خاصة) او القصدير (Tin) والنيكل والسليكون والمغنيسيوم وعناصر اخرى. وباختلاف نسب هذه العناصر تختلف قابلية السبيكة على التشغيل.

فاضافة الرصاص الى السبيكة بنسبة تتراوح بين 1-4.5 % ترفع قابلية السبيكة على التشغيل لكون الرصاص غير قابل للذوبان لتكوين محلول جامد (Solid Solution) حيث انه يتكثف على شكل مجاميع في انحاء البنية الداخلية للسبيكة وخاصة على الحدود الباورية منها، حيث يساعد على تكسر النحاة (Chip Breaking) او الرايش اثناء عملية التشغيل أيا كان نوعها اضافة الى انه يعطي انهاء افضل (نعومة اكثر) للسطح بعد التشغيل، كما يؤدي الرصاص دورا مهما اخر وهو التزيت الذاتي (Self Lubrication) اثناء عملية التشغيل. والجدول (9-1) يبين سبائك النحاس من هذه المجموعة.

## 9- 1- 2 المجموعة الثانية: السبائك ذات القابلية الجيدة على التشغيل.

يمثل البراص سبيكة من النحاس والخرصين، وكلما زادت نسبة الخرصين في السبيكة كلما صارت قابلية تشغيلها افضل وذلك بسبب التغيرات التي تحدث في البنية المجهرية (Microstructure) وخصوصا عندما تزيد نسبة الخرصين عن (37wt%) وكما هو مبين في الجدول (9-2). ومن سبائك هذه المجموعة سبائك البراص- رصاص التي لا تزيد نسبة الرصاص فيها عن (1%). فعندما تتطلب ظروف عمل الجزء المصنّع (المنتج) من سبائك هذه المجموعة حدا معينا من المطيلية (Ductility) لتجنب الكسر تصبح نسبة الرصاص محددة بذلك (اي باختيار اوسط الحلول من حيث الاداء وسهولة التشغيل).



## جدول (1-9)

المجموعة الاولى: سبائك النحاس ذات التشغيلية الممتازة (Free Cutting).

التحليل (التكوين) الكيميائي وزنا بالمئة (% wt)									رمز السبيكة	السبيكة
عناصر اخرى	P	Fe	Mn	Sn	Pb	Zn	Ni	Cu		
					3.5-4.5	المتبقي		56.5-58.5	CuZn3Pb4	براس رصاص 4
Te(0.3-0.7)								المتبقي	CuTe	نحاس تليوم
S(0.3-0.6)								المتبقي	CuS	نحاس كبريت
		0.5-1.2	0.3-2	0.6-1.1	0.5-1.5	المتبقي		56-59	CuZn39AlFe Mn	براس نحاسي القلابة ابراس لحام المونة
					0.75-1.5	المتبقي		63-66	CuZn39Pb1	براس رصاص 1
					1-2.5	المتبقي		61-64	CuZn39Pb2	براس رصاص 2
					1.5-2.5	المتبقي		58-60	CuZn39Pb2	براس رصاص 2
					2.5-3.5	المتبقي		56.5-58.5	CuZn39Pb3	براس رصاص 3
					1.5-2.5	المتبقي		56.5-58.5	CuZn41Pb2	براس رصاص 2
					2.5-3.7	المتبقي		60-63	CuZn36Pb3	براس رصاص 3
					1.5-2.5	المتبقي		58.5-61	CuZn38Pb2	براس رصاص 2
					0.8-1.5	المتبقي		58.5-61	CuZn39Pb1	براس رصاص 1
0.5Al					2.5-3.5	المتبقي		55.5-57.5	CuZn40Pb3	براس رصاص 3
0.5 Sb				8-10	13-17	1≥	2 ≥	المتبقي	76Cu9Sn15Pb	برونز رصاص
0.5 Sb	0.1≥			9-11	8.5-11	1≥	2 ≥	المتبقي	80Cu10Sn10Pb	برونز رصاص
0.5 Sb	0.1≥			4-6	8-10	2≥	2 ≥	المتبقي	85Cu5Sn10Pb	برونز رصاص

0.5 Sb				4-6	18-23	$1 \geq$	$2 \geq$	التبقي	75Cu5Sn20Pb	برونز رصاص
				2-3.5	4-6	7-9.5	$2 \geq$	التبقي	83Cu5Sn9Zn5Pb	برونز رصاص (معدن المذخ)
				4-6	4-6	4-6	$2 \geq$	التبقي	85Cu5Sn5Zn5Pb	برونز رصاص (معدن المذخ)
	$0.3 \geq$		0.3	6.5-8.5	2-5	2	$1 \geq$	التبقي	87Cu7Sn2Zn4Pb	برونز رصاص (معدن المذخ)
				6-8	2.5-3.5	1.5-3.5	$2 \geq$	التبقي	87Cu7Sn3Zn3Pb	برونز رصاص (معدن المذخ)
			0.2-0.5		1-2.5	التبقي	9-11	44-47	CuNi10Zn45	براس رصاص نيكال 10
			1.5-3		1-2.25	التبقي	13-15	39-42	CuNi14Zn42	براس رصاص نيكال 14
			0.1-0.5		1-2	التبقي	9-11	58-63	CuNi10Zn29	براس رصاص نيكال 10
			0.5-1		0.5-1	التبقي	14-16	60-63	CuNi15Zn23	براس رصاص نيكال 15
			0.5-1		0.4-0.8	التبقي	17-19	60-63	CuNi18Zn19 Pb	براس رصاص نيكال 18
Al $\leq 0.5$		$0.3 \geq$		$0.5 \geq$	0.5-2.5	التبقي		57-60		براس (للمسبكة بالحقن)
		$0.75 \geq$		1-3	2-5	التبقي	$1 \geq$	70-80		براس (للمسبكة الرملية)
		$0.75 \geq$		$1.5 \geq$	1-3	التبقي	$1 \geq$	63-70		براس (للمسبكة الرملية)
Al(0.2-0.8)		$0.8 \geq$	0.5	$1 \geq$	0.5-2.5	التبقي	$1 \geq$	58-63		براس (للمسبكة بالحقن)

## جدول (9-2)

المجموعة الثانية : سبائك النحاس ذات القابلية الجيدة على التشغيل (Readily Machinable Alloys)

السبيكة	رمز السبيكة	التحليل (التكوين) الكيميائي وزنا بالمئة ( wt% )							
		P	Fe	Mn	Sn	Pb	Zn	Ni	Cu
النحاس - سيليكون	Cu97Si3		2.75-3.25	0.75-1.25					المتبقي
براس رصاص	CuZn20 Pb 0.5					0.1-1	المتبقي		79-81
براس 63	CuZn37						المتبقي		62-65
براس 60	CuZn40						المتبقي		59-62
براس 63 قصدير (naval brass)	CuZn38Sn1				1-1.4		المتبقي		61-63.5
براس 59 قصدير (naval brass)	CuZn40Sn1				0.6-1.25		المتبقي		57.5-60.5
براس عالي المقاومة (منغنيز-الانتيوم)	CuZn39AlFe Mn		0.5-1.2	0.3-2	0.2-1	0.5-1.5	المتبقي		56-59

				0.02		0.25		4-5
	3-6	0.5-2.5						0.5-1.2
	4	$3 \geq$						0.3-2
	0.2	$1 \geq$	6.5-7.5	9.5-10.5				
1-1.5	$0.2 \geq$	$0.5 \geq$	0.1-0.5	$1.5 \geq$	0.25	0.3-0.8		
المتبقي	المتبقي	المتبقي	1.5-3	1.75-2.75	المتبقي	المتبقي	المتبقي	المتبقي
	$1 \geq$	$1 \geq$	5.25-575.	$1 \geq$				
60-63	$55 \leq$	$55 \leq$	المتبقي	المتبقي	59-63	59-62	64-68	
			.5Cu7Sn5S86 Ni1Zn	Cu10SnZn288		CuZn40 Pb 0.5	CuZn29AlFe Mn	
براس عالي المقاومة	براس عالي المقاومة	براس عالي المقاومة	برونز النيكل ( معدن المدفع بالتنكيل )	برونز ( معدن المدفع )	براس ( للسبائك بالقوالب )	براس 60 ( قليل الرصاص )	براس عالي المقاومة	

### جدول (3-9)

المجموعة الثالثة: سبائك النحاس ذات القابلية الضعيفة على التشغيل (صعبة التشغيل).

السيكة	رمز السيكة ISO	التحليل (التكوين) الكيميائي وزنا بالئة (%wt)								
		Cu	Ni	Zn	P	Zr	Mn	Fe	Al	اخرى
برونز النيومي		المتبقي	≥1	≥0.5			≥1	3.5-1.5	5-8.5	
برونز النيومي		المتبقي	4.5-5.5	≥0.5			≥1.5	5-4	10-8.8	
نحاس	Cu-ETP	≤99.9								
نحاس	Cu-FRHC	≤99.9								
نحاس	Cu-OF	≤99.95								
نحاس	Cu-FRTP	≤99.85								
نحاس	Cu-DHP	≤99.85			0.013- 0.05					
نحاس	Cu-DPA	≤99.2			0.013-0.05					Ag 0.3-0.5
نحاس - كاديوم		المتبقي								Cd 0.5-1.5
برونز النيومي7	CuAl7	المتبقي	Ni+Fe+Mn 1-2.5						5-6	
برونز النيومي5	CuAl5	المتبقي							5-4.5	
برونز النيومي9	CuAl9	المتبقي						6-4	10-8.8	
برونز النيومي10	CuAl10Fe5 Ni5	المتبقي	6-4					6-4	11-8.5	
نحاس بريليوم		المتبقي								Be 2-3.5
نحاس كروم		المتبقي								Cr 0.6-1.2
نحاس كروم		المتبقي								Cr 0.3-1.2
نحاس كروم زركونيوم		المتبقي				0.02-0.27				Cr 0.5-1.2
نحاس مفسسيوم		المتبقي		≥0.5			15-11	4-2	5-7.5	≥Sn



النيوم										
نحاس نيكل 5	CuNi5Fe1Mn	المتبقي	5-6							
نحاس نيكل 10	CuNi10Fe1Mn	المتبقي	10-11							
نحاس نيكل 15	CuNi15	84-86	14-16							
نحاس نيكل 20	CuNi20	79-81	19-21							
نحاس نيكل 25	CuNi25	74-76	24-26							
نحاس نيكل 30	CuNi30	69-71	29-31							
نحاس نيكل 30	CuNi30FeMn	المتبقي	30-32							
نحاس نيكل 30 حديد	CuNi30Fe2Mn2	المتبقي	29-32							
براس 95	CuZn5	95-98				المتبقي				
براس 90	CuZn10	89-91				المتبقي				
براس 85	CuZn15	84-86				المتبقي				
براس 80	CuZn20	79-81				المتبقي				
براس 70	CuZn30	70-73				المتبقي				
براس 67 (HBR2)	CuZn33	64-67				المتبقي				
السبيكة	رمزها	Cu	Ni	Zn	Sn	Mn	Fe	P	Al	Pb
براس النيومي	CuZn21Al2	76-78		المتبقي				1.8-2.3		
براس نيكل النيوم سليكون		81-86	0.08-1.4	المتبقي	0.1≥		0.25≥	0.7-1.2	0.8-1.3	0.05
براس - نيكل 10		60-65	9-11	المتبقي	0.05-0.3					
براس - نيكل 12		60-65	11-13	المتبقي	0.05-0.3					
براس - نيكل 15		60-65	14-16	المتبقي	0.05-0.3					
براس - نيكل 18	CuNi18Zn20	60-65	17-19	المتبقي	0.05-0.3					

براس - نيكل 18	CuNi18Zn27	54-56	-1917	المتبقي	0.05-0.35				
براس - نيكل 20		60-65	19-21	المتبقي	0.05-0.35				
براس - نيكل 25		55-60	24-26	المتبقي	0.5-0.75				
برونز فسفوري		المتبقي			$10 \leq$	$0.5 <$			
برونز فسفوري	CuSn12	المتبقي	$0.5 \geq$	$0.3 \geq$	11-13	$0.5 \leq$	$0.5 \geq$		
برونز فسفوري		المتبقي	$0.5 \geq$	$0.5 \geq$	$9.5 \leq$	$0.5 \leq$	$0.75 \geq$		
برونز فسفوري 3	CuSn3	المتبقي			3-4.5	0.02-0.4			
برونز فسفوري 5	CuSn5	المتبقي			4.5-6	0.02-0.4			
برونز فسفوري 7	CuSn7	المتبقي			3.5-6	0.02-0.4			
برونز فسفوري 9	CuSn9	المتبقي			7.5-9	0.02-0.4			

### 9-1-3 المجموعة الثالثة:- السبائك صعبة التشغيل

تمتاز السبائك المصنفة ضمن هذه المجموعة، والموجودة في الجدول (9-3)، بان قابليتها على التشغيل قليلة اي اقل من تلك المصنفة ضمن المجموعة الثانية. وهذه المجموعة تشمل النحاس النقي وسبائك نحاسية يتطلب استخدامها ظروف خاصة كمقاومة التآكل او مقاومة ميكانيكية (Strength) محددة او لون معين والتي تصمم عادة لاغراض خاصة اهم من قابلية السبيكة على التشغيل او قد لا تتطلب تشغيلاً بعد التصنيع. ومنها سبائك النحاس - خارصين (براص 90 وبراص 85 وبراص 80 ...) والتي تمتاز بلونها البراق، لذلك فهي تستخدم في الاعمال الفنية والديكور واعمال الصيانة.

يمتاز النحاس الحاوي على الزركونيوم او البريليوم بانه ذو مقاومة (Strength) عالية وتوصيلية كهربائية عالية (High Electric Conductivity) والتي يتم تحديدها للسبيكة من خلال المعالجة المحلولية ثم التصليد بالترسيب (Precipitation Hardening) ومن سبائك هذه المجموعة ايضا سبيكة النحاس - كاديوم والبرونز الفسفوري.

## 9- 2 عمليات التشغيل (Machining Processes)

من المعلوم في عمليات تشغيل المعادن بان المتغيرات التي تشمل السرعة والتغذية وعمق القطع يمكن التلاعب بها على حساب بعضها البعض لتحقيق عدد غير محدد من الظروف اللازمة لازالة كمية معينة من المعدن في زمن محدد. ومن خلال التعامل مع النحاس وسبائكها فان ظروف تشغيلها المفضلة عمليا هي استخدام اكبر سرعة قطع مع اقل تغذية ممكنتين عدا عمليات التشغيل للاجزاء المصنعة بالسبائك الرملية، حيث يتم تشغيلها باستخدام عدد (سكاكين) قطع من الفولاذ الكربوني (Carbon Steel) وصُلب السرعات العالية (High Speed Steel) ففي هاتين الحالتين يفضل استخدام سرعة قطع قليلة مع تغذية معتدلة لحين ازالة الطبقة الاولى من المعدن المسكوب (المصبوب) ثم تتم زيادة السرعة والتغذية.

وعند استخدام عدد كاربيدية (Carbide tools) فليس هناك ضرورة لتقليل السرعة عند الابتداء بل يمكن معاملة المسبوك بالسبائك الرملية معاملة خاصة. و سيتم هنا توضيح عمليات التشغيل المتنوعة كدليل لورش الصيانة والتصليح التي تتعامل مع هذه السبائك بشكل غير دائم (مستمر) او للمشتغلين اللذين ليست لهم خبره عملية مع هذا النوع من السبائك وذلك من خلال تثبيت الظروف والعوامل اللازمة لعمليات التشغيل (كسرعة القطع والتغذية وزوايا الجرف والقطع والخلوص الخاصة بالعدد (السكاكين)). والتي يمكن اعتمادها في البداية بصورة تقريبية ثم يتم ضبط القيم المثلى لها من خلال تكرار العملية لتلائم البنى المختلفة للسبيكة وحالتها الميتالورجية ونوعية سائل القطع و الاستخدام الافضل.

وكلما قلت مطيلية المعدن فان زاوية الجرف (Rake) اللازمة تكون اصغراو معدومة. فعند تشغيل سبائك المجموعة الاولى تفضل زوايا جرف معتدلة والتي تُحد من الضوضاء (الاضطراب) واتلاف المعدن في حين تستخدم زوايا جرف اكبر عند تشغيل سبائك المجموعتين الثانية والثالثة لتحقيق نحاتة (رايش) متكسر. ان زاوية الجرف الجانبي

ضرورية اثناء تشغيل سبائك المجموعة الثانية والثالثة. وفيما ياتي شرح لكل عملية من عمليات التشغيل:-

## 9- 2- 1 الخراطة (Turning)

عند اجراء عملية القطع الخشن وباستخدام عُدة (سكين) قطع من الفولاذ الكربوني او فولاذ السرعات العالية (High Speed Steel) يلزم ان تكون زاوية العُدة (السكين) خمسة درجات ونصف قطر قدره (0.8mm) وقد يحصل اهتزاز (Chattering) عند استخدام قيمة اكبر لنصف القطر او قيمة اقل لزاوية حافة العدة وفي حالة الاقطار الصغيرة واثناء مرحلة التشغيل الانهائي (Finishing) للاجزاء من سبائك المجموعة الاولى وعند اعلى سرعة ممكنة للعملية يتم الاعداد لضبط التغذية وجعلها ملائمة لعمق القطع ولطاقة الماكينة ونوع سائل القطع (التبريد) ومستلزمات نعومة السطح والجدول (4-9) يبين قيم السرعة والتغذية الملائمة وظروف كل مجموعة من المجاميع الثلاثة من السبائك النحاسية. وعندما تكون السرعة العالية الواردة في الجدول اعلاه ملائمة من الناحية العملية كما في الاجزاء (القطع المراد تشغيلها) الكبيرة او في مكائن توسيع الثقوب (Boring M/C) فيمكن اعتماد قيم اصغر كما ويلاحظ ان كفاءة القطع افضل عند استخدام عدة قطع كاربيدية وعمق قطع اكبر مع سرعة قطع عالية وتغذية قليلة يرافقها عمر اطول للعدة.



## 9-2-2 القطع (Cutting)

يمكن قطع النحاس وسبائكه باستخدام منشار قطع مستقيم مصنوع من فولاذ السرعات العالية. حيث ان الخلوص الجانبي له كافٍ وقد تلزمه عملية تجليخ عند الحاجة الى ذلك. وتستخدم المناشير القرصية المصنوعة من الفولاذ الكاربوني او فولاذ السرعات العالية والجدول (4-9) يبين زوايا عدد القطع.

### 9-2-3 التشغيل بعدد الشكل (Machining by Form Tools):-

وتتمثل في عمليات الخراطة المستخدمة في الانتاج الكمي (Mass Production) تؤثر على سرعة القطع والتغذية العوامل التالية:-

1- نسبة عرض عدة (سكين) القطع الى قطر الجزء المقطوع.

2- طول الجزء المراد قطعه ومقدار التعليق (Over Hanging).

3- شكل العدة (السكين).

فعند تشغيل النحاس وسبائكه باستخدام عدة (سكين) قطع مصنوعة من فولاذ السرعات العالية يستحسن ضبط او تعديل سرعة القطع عند تغيير السبيكة والاحتفاظ بتغذية خفيفة بحوالي  $0.025-0.075 \text{ mm/rev}$  أثناء التشغيل الاولي و  $0.0125-0.05 \text{ mm/rev}$  لعمليات التشغيل النهائي. ويعتمد مقدار زاوية الخلوص على قطر العدة حيث تتراوح قيمتها بين  $(7-12^\circ)$ .

### 9-2-4 التثقيب (Drilling):

يمكن استخدام نوعي عدد التثقيب، المبينين في الشكل (4) الموضح في الجدول (4-9)، لتثقيب الاجزاء المصنعة من سبائك المجموعة الاولى والثانية. وعند تجليخها يمكن استخدامها للسبائك في المجموعة الثالثة حيث ان تسطیح حافة القطع للعدة بالتجليخ سيمنع انسحاب المثقب الى داخل معدن الجزء. وتستخدم اثناء عمليات الخراطة الآلية لتشغيل الثقوب في الاجزاء المصنوعة من سبائك المجموعة الاولى والثانية مثاقب مسطحة (Straight Flute Drills) ذات خلوص زاوي مقداره صفر درجة.

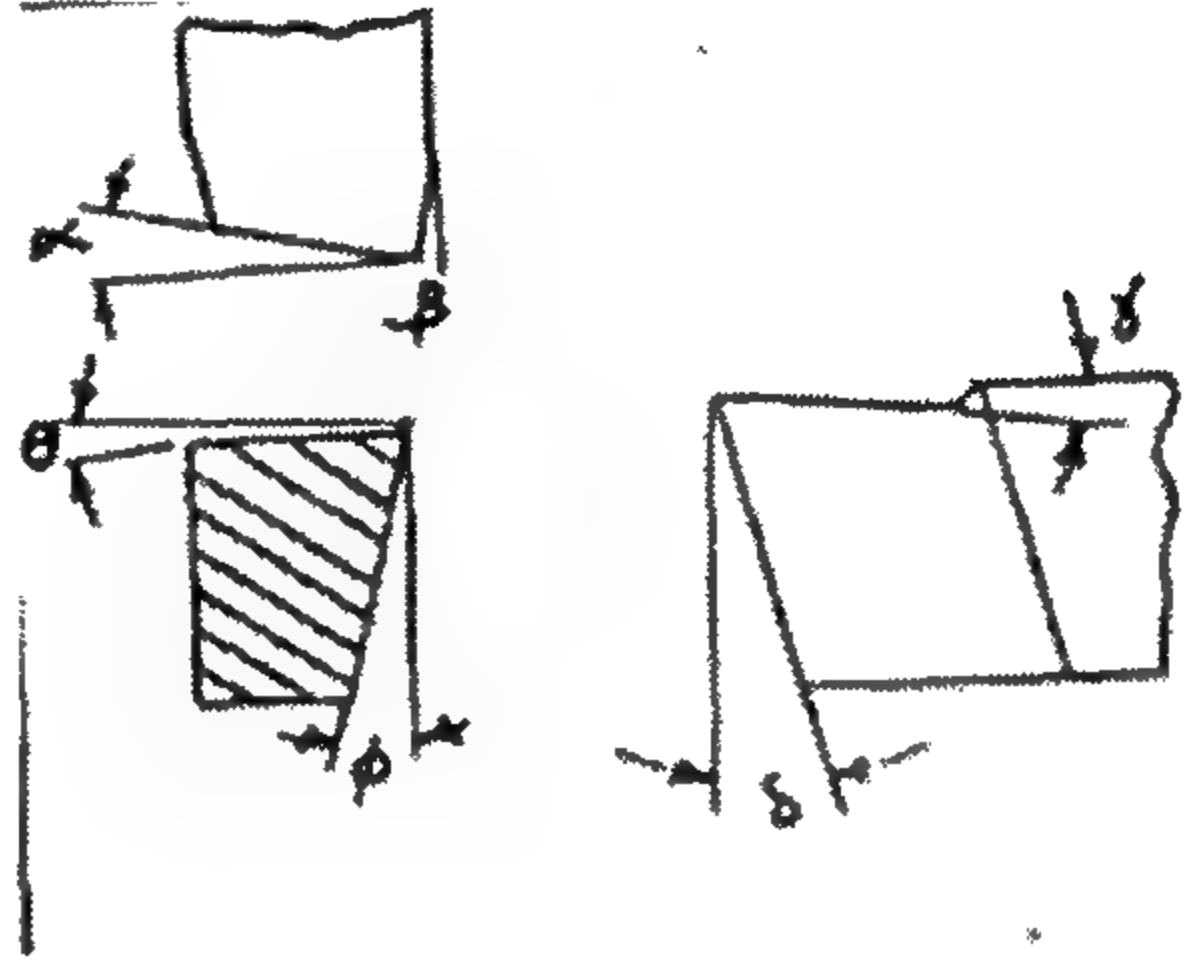
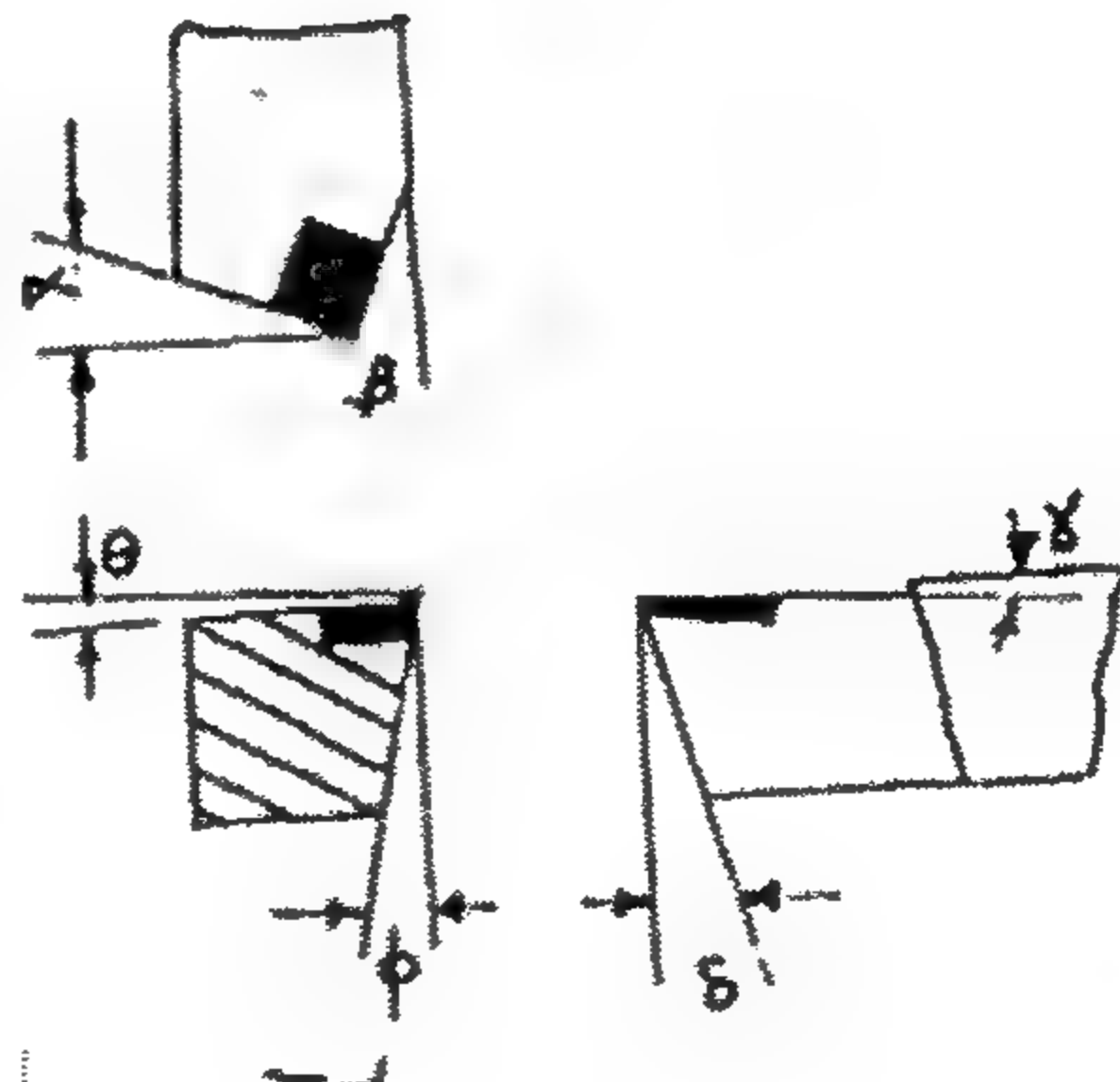


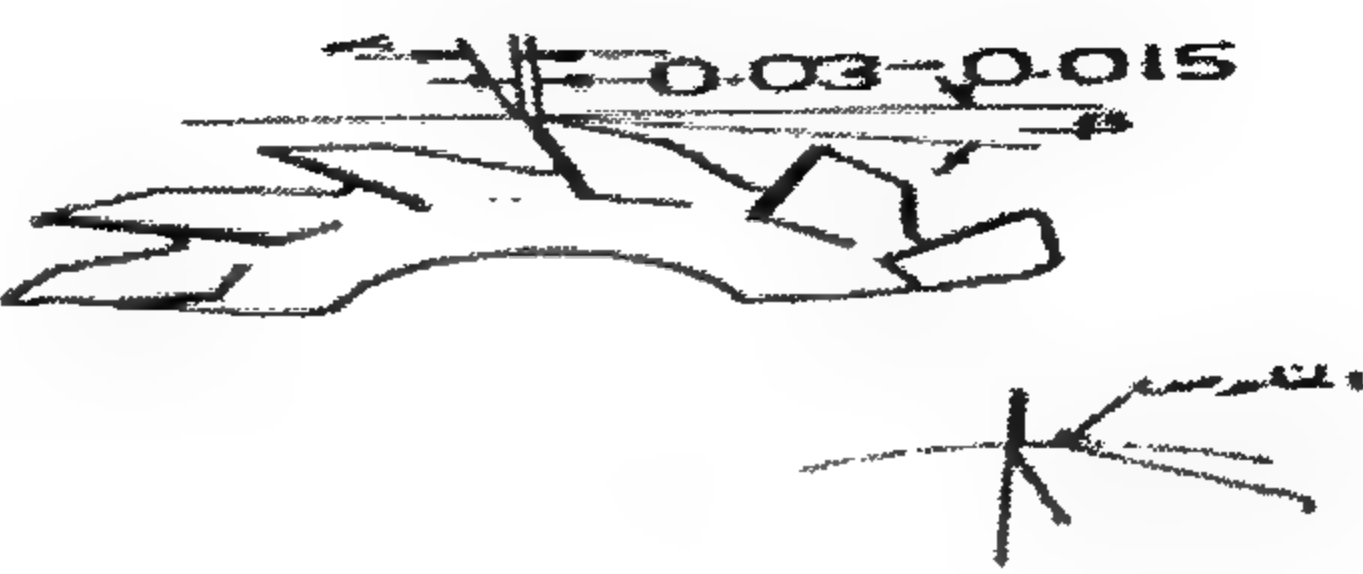
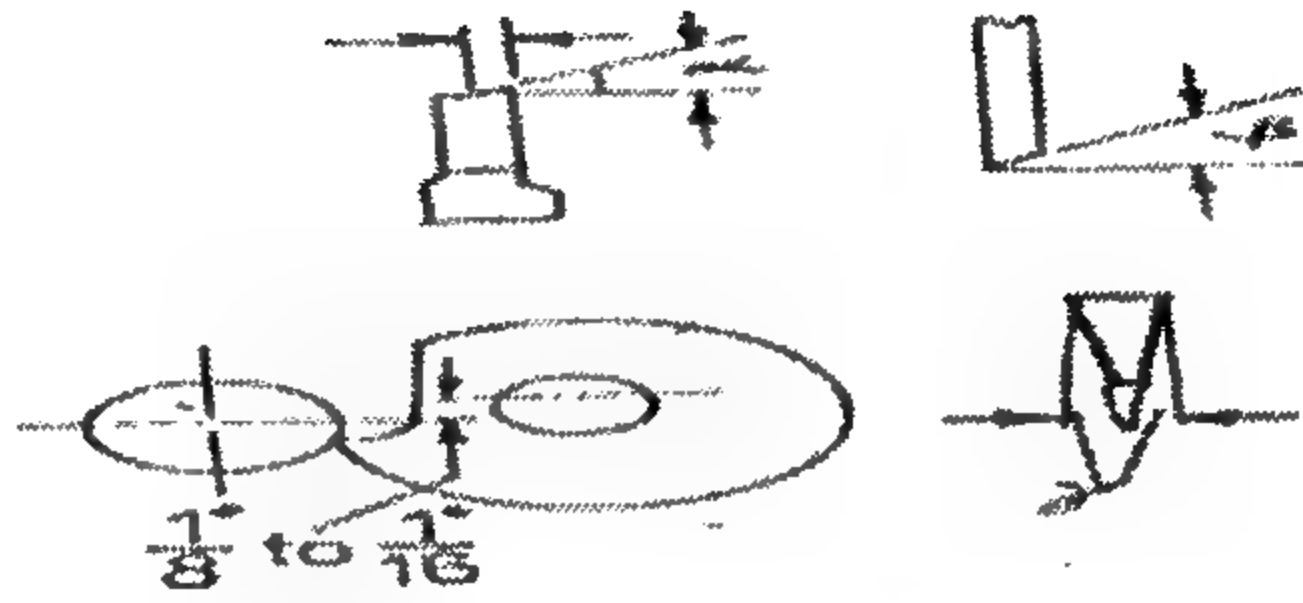
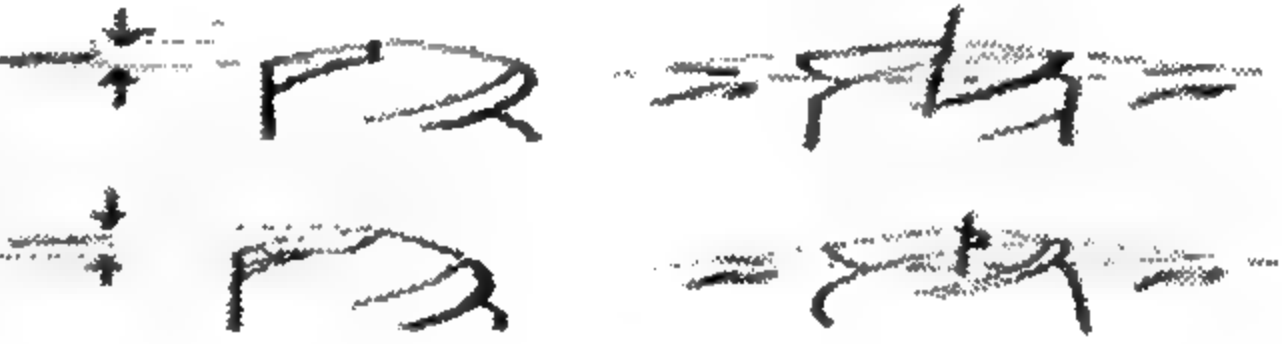
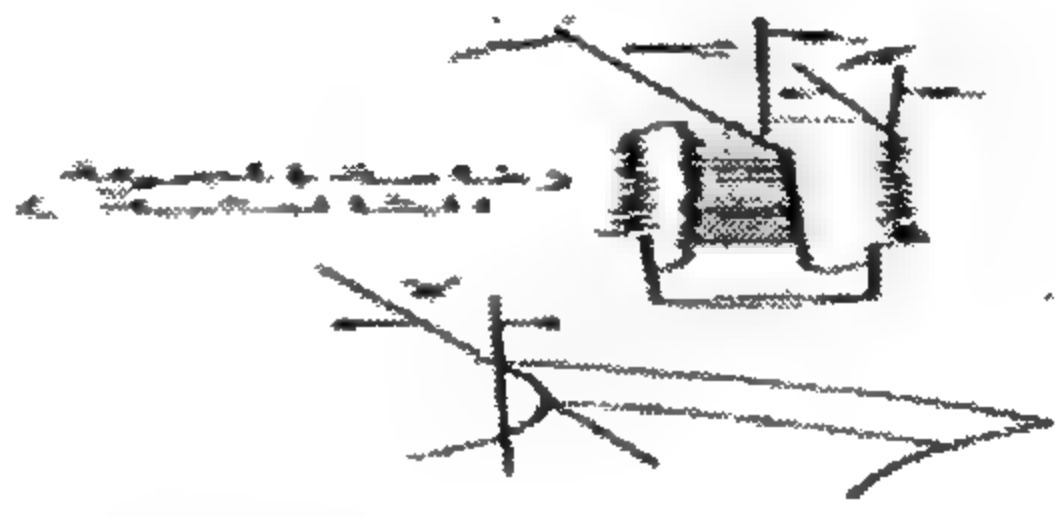
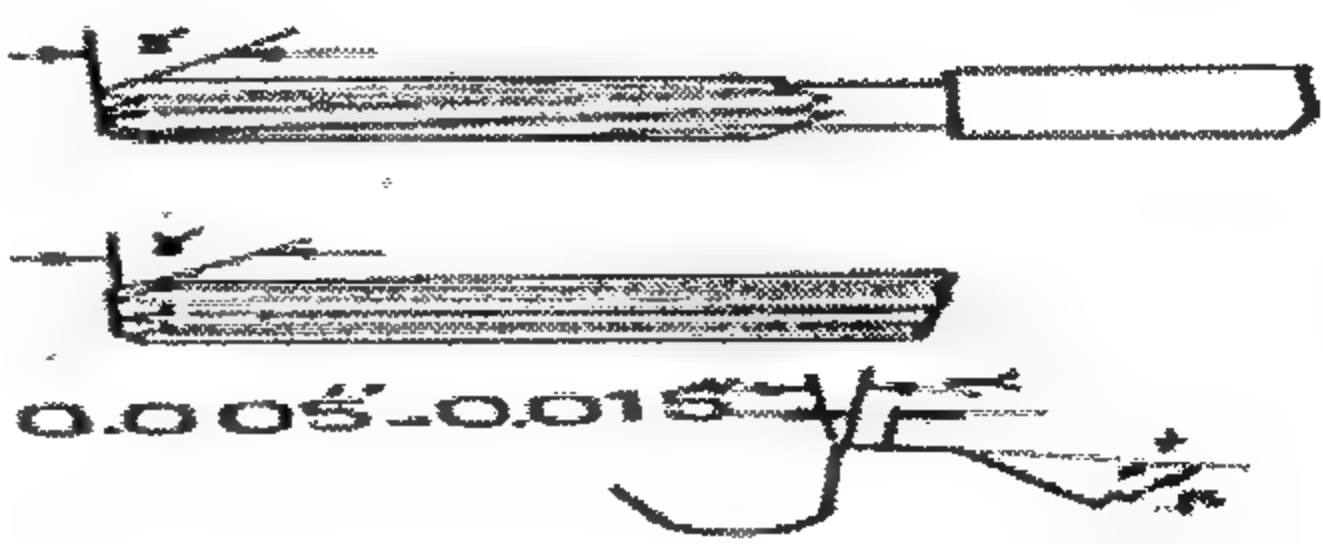
ويمكن اجراء عملية الثقيب لجميع السبائك بدون استخدام سائل قطع ولكن يمكن التوصل الى نتائج افضل، فيما يخص نوع السطح وعمر العدة، عند استخدامه. وتمتاز الماثاقب المستخدمة لتثقيب سبائك البراص بكون زاوية الحلزنة ( Helix angle) تتراوح بين  $10^{\circ}$  -  $22^{\circ}$  وذات حافة رقيقة ومنعّمة والتي تساعد على تحقيق خلوص كبير وزاوية جرف صغيرة.

يتم تصنيع سبائك المجموعة الاولى على شكل قضبان ثم يتم تشغيلها آليا باستخدام مكائن ذاتية متخصصة (Automatic Screw H/C) وبذلك فان عملية التزيت ستم بصورة طبيعية ويصبح التزيت مرغوبا عند تثقيب سبائك المجموعة الثانية وخصوصا عندما يكون الثقب عميقا والدقة المطلوبة عالية. وعند ثقب سبائك المجموعة الثالثة والنحاس فانه يجب ان يستخدم الزيت باستمرار.

جدول (4-9)

زوايا العُدَد الخاصة بعمليات التشغيل المختلفة.

المجموعة الثالثة	المجموعة الثانية	المجموعة الاولى	الزوايا	رسم زوايا العدة	عمليات التشغيل
5-19°	5-19°	5-19°	القطع $\alpha$		<p>الخراطة Turning</p> <p>قلم (سكين) من فولاذ السرعة العاليه</p>
15°	10-15°	10-15°	القطع الجانبى $\beta$		
20-30°	5-10°	0-3°	الجرف $\Theta$		
10-20°	5-10°	0	الجرف الخلفى $\gamma$		
10-20°	5-10°	0-5°	الخلوص الجانبى $\Phi$		
10-15°	6-15°	6°	الخلوص النهائى $\delta$		
8-15°	8-15°	8-15°	القطع النهائى $\alpha$		<p>قلم (سكين) كاربيدي</p>
10-15°	10-15°	10-15°	القطع الجانبى $\beta$		
15-25°	4-6°	2-6°	الجرف $\Theta$		
4-8°	0-5°	0	الجرف الخلفى $\gamma$		
7-10°	4-8°	4-6°	الخلوص الجانبى $\Phi$		
7-10°	4-8°	4-6°	الخلوص النهائى $\delta$		

0-15°	0-10°	0-10°	الجراف $\alpha$		التفريز Milling
	6-12°	10-15°	الفلوس $\beta$		
12°	12°	12°	الفلوس الجانبي		
23°	15°	15°	$\alpha$		التقطيع Cut off
25°	15°	15°	$\beta$		
5-10°	5-10°	5-10°	$\gamma$		
12-15°	12-15°	12-15°	الفلوس $\alpha$		التثقيب Drilling
50-55°	59°	59°	$\beta$		
15-20°			$\alpha$		تشغيل المسننات Tapping
10-15°			$\beta$		
8-15°	5-8°	2-4°	$\gamma$		
35-45°	35-45°	35-45°	$\gamma$		توسيع الثقوب Reaming
3-6°	3-6°		$\alpha$		
6-8°	6-8°	6-8°	$\beta$		

## 9- 2- 5 تشغيل المسننات (Tapping):

يمكن اجراء هذه العملية يدويا وعلى مراحل عندما يكون الجزء المراد تشغيله من سبائك المجموعة الاولى او الثانية حيث يجب ان يكون الجرف دقيق والحافات قصيرة لمنع تكون الاجهادات بسبب قطع العدة لعدة اسنان في ان واحد. اما سبائك المجموعة الثالثة وبصورة رئيسة النحاس والنحاس- نيكل فانها تولد عند تشغيلها نحافة (رايش) مستمر وطويل وغير متكرر حيث يندفع امام العدة لذلك تستخدم لها عدة خاصة (Spiral pointed taps 2or3flutes) وهذا النوع يمكن استخدامه يدويا او بالمكائن للثقوب المفتوحة (النافذة) وغير النافذة وذات الخلوص الكافي بشرط امكانية ازالة النحافة. وعندما تكون العدة (السكين) من الفولاذ الكربوني فيجب تخفيض السرعة بنسبة 50 % عما هي عليه لو كانت من فولاذ السرعة العالية.

## 9- 2- 6 توسيع الثقوب (Reaming):

يمكن استخدام جميع انواع الموسعات (Reamers) اليدوية او باستخدام المكائن عند توسيع الثقوب ذات الدقة العالية. ويستخدم المستقيم والمنعم بشكل شائع، ولكن تظهر فيها احيانا مشكلة الطقطقة (فرقة) والتي يمكن تجاوزها باستخدام عدة من النوع ذي الزاوية الحلزونية (Helical angle) تتراوح قيمتها بين ( $7^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ) كما ان النوعين الايمن واليسر يأمنان تحقيق سطح ناعم ودقة جيدة في سبائك المجاميع الثلاث وحسب طول الثقب وسمك الجزء لذلك يمكن استخدام العدة المصنعة من فولاذ السرعة العالية (High Speed Steel) عند اعتماد القيم المدرجة في الجدول (4-9).

## 9- 2- 7 التفريز (Milling):

يمكن اجراء عملية التفريز لجميع انواع هذه السبائك المدرجة في المجاميع الثلاث باستخدام عدد التفريز الخاصة. حيث يشترط ان يكون الخلوص بين المعدن و العدة كاف لمنع التصاق المعدن، حيث ان الاهتزاز يعتبر مؤشرا على كون الخلوص او الجرف كبير وقد يكون بسبب السرعة العالية. ويمكن تجاوز ظاهرة التنقر (Digging in) باستخدام عدة التفريز ذات الاسنان المائلة بزاوية مقدارها  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  والعدد الحلزونية بزاوية تصل

الى  $53^\circ$  وذات فعل قطع جيد اضافة الى تحقيقها سطوح ناعمة في جميع السبائك انفة الذكر عند استخدام زاويتي خلوص وجرف معتدلتين. تستخدم الاسنان ثنائية الزاوية (في خلفية السن) في عمليات التجليخ حيث تعطي للحد القاطع خلوصا ومثانة معتدلتين. اذ ان الخلوص للعدد (السكاكين) الصغيرة يجب ان يكون اكبر مما هو عليه في السكاكين (العدد) الاكبر. وتعطى اعظم زاوية خلوص للسكاكين (العدد) التي يتراوح قطرها بين 75-100mm علما بان السرعة المثبتة في الجدول مبنية على اساس ان العدد المستخدمة مصنوعة من فولاذ السرعة العالية وباستخدام سائل قطع خاص (ويجب تخفيض السرعة بنسبة 50% عند استخدام سكين (عدة) من الفولاذ الكربوني). وفي العديد من الامثلة من الممكن زيادة السرعة بنسبة تصل الى اكثر من 100% بالاستناد الى المتغيرات كعمق القطع وعرض العدة (السكين) ومثانة الماكينة وحالة السطح اللازمة (النعومة) ومعدل التغذية والتي تختلف من 0.15 الى 6.0 متر بالدقيقة او اكثر.

يبين الجدول (5-9) قيم السرعة والتغذية لكل من عمليات التشغيل انفة الذكر وهو يمثل مديات من القيم والتي يمكن تثبيتها من خلال التجربة عند استخدام عدد من فولاذ السرعة العالية، في حين تستخدم نصف هذه القيم عندما تكون العدة من الفولاذ الكربوني.

## 9- 3 سائل القطع الملائمة للسبائك النحاسية

( Cutting fluids for Cu-alloys )

اهمية سائل القطع:

يعتمد اختيار سائل القطع على قابلية المعدن او السبيكة على التشغيل اضافة الى نوع عملية التشغيل. فمن الشائع القبول بان وظيفة سائل القطع هي تبريد وتزيت عدة (سكين) القطع والواقع ان وظيفته ليست هذه فقط وانما تتلخص اهميته بما ياتي:-

1- يساعد على زيادة عمر العدة مع امكانية ازالة المعدن بمعدل اعلى.



- 2- يساعد في الحصول على نعومة افضل لسطح المعدن المشغل.
  - 3- يقلل من القوة اللازمة للقطع.
  - 4- تبريد الجزء تحت التشغيل (Work piece) والنحاة (Chips) وبالتالي المحافظة على امكانية تحقيق القياسات المطلوبة.
  - 5- ازالة النحاة (الرايش) من منطقة القطع.
  - 6- اضافة الى امور اخرى مثل كون السائل يقلل من بلي (Wear) الجزء تحت التشغيل او عدد الماكينة.
- ومن الجدير بالذكر انه غير سام. لكن احيانا يتطلب الامر استخدام سائل تبريد خاص ملائم لزيت الماكينة.
- لا يمكن اعتبار الماء سائل قطع جيد وتستخدم الزيوت المعدنية (Mineral Oils) للقيام بعمليات التبريد. واعظم حالات التزيت تائرا هي عندما تفصل السطوح المنزلقة على بعضها بطبقة من الزيت وبصورة تامة الا انه تتولد اثناء عمليات ازالة المعدن درجات حرارة عالية من جراء ارتفاع الضغط وعليه فان وجود اضافات لتحسين الاداء تعتبر من الامور الضرورية جدا. ومن خلال التجارب المختبرية والخبرة العملية للعاملين في هذا المجال، فقد حُددت بعض المواد لتضاف الى سوائل القطع وذلك لغرض زيادة عمر العدة (السكين) والمحافظة على نوعية جيدة لسطح المعدن (المنتج) وبدون بقع.

## جدول (5-9)

يوضح ظروف التشغيل لمجاميع السبائك النحاسية الثلاث.

ظروف التشغيل				مجاميع السبائك النحاسية	عمليات التشغيل
mm/revالتغذية		m/minالسرعة			
تشغيل نهائي	تشغيل اولى	تشغيل نهائي	تشغيل اولى		
0.075-0.4	0.15-0.5		90-200	المجموعة الاولى	*خراطة سكين فولاذ
0.15-0.4	0.4-0.9		45-90	المجموعة الثانية	السرعات العالية
0.15-0.5	0.4-1		22-45	المجموعة الثالثة	Turning
0.15-0.4	0.4-0.65	150-450	120-300	المجموعة الاولى	خراطة سكين
0.15-0.4	0.4-0.75	150-300	120-180	المجموعة الثانية	كاربيدي *
0.2-0.4	0.4-0.75	90-200	75-180	المجموعة الثالثة	Turning
0.005-0.75		150- 60 -160		المجموعة الاولى	تشقيب **
0.075-0.5		25-75		المجموعة الثانية	Drilling
0.075-0.5		15-40		المجموعة الثالثة	
		45-75		المجموعة الاولى	عمل الاسنان Tapping
		20-45		المجموعة الثانية	
		10-20		المجموعة الثالثة	
0.2-1		60 >		المجموعة الاولى	توسيع الثقوب Reaming
0.2-1		22-45		المجموعة الثانية	
0.2-1		20-30		المجموعة الثالثة	
0.15-6		60-75		المجموعة الاولى	تفريز Milling
0.15-6		45-60		المجموعة الثانية	
		15-45		المجموعة الثالثة	

\* عمق القطع الاول (1-3 mm) عمق القطع النهائي (0.4-0.75 mm).

\*\* القيم المذكورة في الجدول للمثاقب بالاقطار (3-20mm) والتغذية اقل مما في الجدول للمثاقب التي

هي اصغر من ذلك.

تستخدم نصف قيم السرعة اعلاه عندما تكون العدة لجميع العمليات من الفولاذ الكربوني.

### 9- 3- 1 تصنيف وتطبيقات سائل القطع:

يتم اختيار سائل القطع حسب المعايير الآتية:

1- نوع المعدن المراد تشغيله، فعند تشغيل سبائك المجموعة الاولى فان عملية تبريد العدد نادرا ما تعتبر ضرورية وقد يزيد استخدام سائل القطع من عمر العدة (السكين). اما في سبائك المجموعة الثانية من السبائك النحاسية كالبرونز والبراص الصلب حيث يجدر تحقيق موازنة بين التبريد والتزيت، في حين يكون التزيت هو الارجح عند تشغيل سبائك المجموعة الثالثة ذات النحافة (الرايش) المستمر.

2- نوع مادة العدة (Tool Material)، يتاثر اختيار سائل القطع، في عمليات التشغيل ذات العدد احادية النقطة (Single pointed tools) (كالخراطة والثقيب... الخ)، بنوع مادة العدة فعندما تكون العدة من الكاربيد يمكن اجراء عملية القطع بدون استخدام سائل قطع، ويجب استخدام مخلوط من الماء ومواد اخرى لمنع تولد الرغوة (Fuming) عند سرع التشغيل العالية من اجل تحقيق عمر اطول للعدة وامكانية زيادة السرعة والتغذية وتحسين نعومة سطح المنتج والوصول الى الدقة المطلوبة في القياسات. وعندما تكون العدة من فولاذ السرعة العالية فيتطلب الامر استخدام سائل التبريد وبعبكسه يجب ان تكون سرعة القطع قليلة. ويمكن تحقيق افضل النتائج عند السرعات العالية باستخدام سائل قطع يحقق متطلبات عمليتي التبريد والتزيت معا.

3- نوع عملية التشغيل، يعتبر الهدف الاساس لاستخدام سائل القطع اثناء عملية الثقيب هو تبريد وازالة النحافة (الرايش) اما في عملية التشغيل النهائي (التشطيب) (Finishing) وخصوصا تلك التي تستخدم فيها عدد عالية الثمن فيكون التزيت اكثر اهمية. فائناء عملية التفريز، على سبيل المثال، يجب

استخدام سوائل قطع ذات صفات تزييت عالية لمنع انزلاق حافة العدة على سطح الجزء المشغل عند ابتداء العملية. ويجب ان تكون لزوجة (Viscosity) سائل القطع واطئة في عملية توسيع الثقوب (Reaming) وذلك لابعاد الرايش (النحاة) بكفاءة عالية لان اي تراكم قد يسبب اتساع الثقب اكثر من المطلوب (Over holes).

4- سوائل قطع من الماء المخلوط (Water Mix Cutting Fluids) وتقسم الى نوعين:

أ- زيوت ذائبة (Soluble Oils) وهي عبارة عن خليط من الزيت الممزوج بالماء واطافات اخرى والتي تساعد على استقرار الخليط ومنع الانفصال وزيادة مقاومة التآكل (Corrosion Resistance) وتحقيق المخالط قدر من التبريد وبمواصفات تزييت محددة. تتراوح نسب الخلط النموذجية للزيت والماء بين (3-10%) لعمليات التشغيل كافة. كما يجب مراعاة اضافة الزيت الى الماء وليس العكس اثناء عملية تحضير الخليط.

ب- سوائل القطع المصنعة (Synthetic Cutting Fluid) تصنع هذه السوائل بخلط بعض المنتجات الصناعية مع الماء. وهذه المنتجات المركزة لا تحتوي على زيوت معدنية باستثناء القليل منها حيث تحتوي على نسب قليلة منها ولذلك تسمى في بعض الاحيان المحاليل شبه الصناعية.

تزداد كثافة هذين النوعين من السوائل، بصورة عامة، من جراء تبخر الماء والتلوث بالنحاة والمواد الاخرى.

9- 3- 2 زيوت قطع نقيه (Neat cutting oils)

هذه المجموعة تستخدم كسوائل قطع من دون اية اضافة من الماء، وتتكون من زيوت معدنية مصفاة واطافات لتحمل الضغوط العالية. وهي في اغلب الاحيان زيوت دهنية خاصة. ويحدد ذلك نوع المعدن المراد تشغيله وعملية التشغيل. ويجب، في جميع انواع هذه الزيوت، مراعاة الموازنة بين عمليتي التزييت وتجنب الإضرار بسطح المعدن



وخصوصا عند الاشتغال بالمكائن الالية (Automatic M/c) حيث يصعب تجنب وصول سائل القطع الى نظام التروس (Gears) ولهذا يفضل هذا النوع من سوائل القطع ليستخدم، وحسب الحالة، بحيث يمكن اختيار افضل زيت ليلائم عملية تزييت الماكينة والعدة في آن واحد.

لقد تم استبعاد الزيوت النباتية والحيوانية عن الاستخدام لهذه الاغراض وقد استبدلت بالزيوت المعدنية لكونها اكثر ملائمة.

### 9- 3- الزيوت المركبة (Compound Oils)

وهي عبارة عن زيوت معدنية يضاف اليها ونسبة محددة زيت نباتي او حيواني لتحسين خواصها الاحتكاكية، وهذا النوع من الزيوت ملائم لسبائك النحاس الصعبة التشغيل اي سبائك المجموعة الثالثة ويؤمن عمر اطول لأداة القطع وانهاء سطحي جيد وبدون بقع.

### 9- 3- 4 زيوت قطع الضغوط العالية

Extreme pressure cutting oils (EPoils)

عندما تكون عملية التشغيل صعبة جدا، بحيث ان الزيوت المركبة لا تؤمن الاداء المطلوب فيجب استخدام زيوت نقية مضاف اليها اضافات خاصة لتلائم الضغوط المرتفعة. وغالبا ما تكون هذه الاضافات من الكبريت او الكلورين او من كليهما ومن ميزات هذا النوع انه لايسبب تغيرا في لون النحاس، حيث ان غمر لوح من النحاس بداخله لمدة ثلاث ساعات وبدرجة 100 °C لايسبب اسوداده.

والجدول (9-6) يبين انواع الزيوت المستخدمة اثناء عملية التشغيل واسماء بعض الشركات الانكليزية المنتجة لها.



جدول (6-9)  
انواع سوائل القطع.

عمليات التشغيل						مجاميع السبائك	نوع الزيت
الخراطة بالعدد احادية النقطة	القطع	الخراطة بعد التشكيل	التثقيب	تشغيل المسند	التفريز		
Mobilmet 140(30:1), mobilemet 406, & 451, & solvac double1(20:1). For all operations.						المجموعة الاولى	منتجات شركة موبيل
Mobilmet 140(30:1), mobilemet 424, & 454, & solvac double1(20:1). For all operations.						المجموعة الثانية	Mobil Oil Co. Ltd.
Mobilmet 150(30:1), mobilemet 427, & 457, & solvac 57(30:1). For all operations.						المجموعة الثالثة	
Dromus B, Dromus BS Macron and Metalina GC. For all operations.						المجموعة الاولى	منتجات شركة شيل
Dromus B, Dromus BS Macron C and Metalina GC. For all operations.						المجموعة الثانية	Shell Petroleum Co. Ltd.
Dromus B, Dromus Bs Macron C and Metalina GC. For all operations.						المجموعة الثالثة	
Kutwell 40 at 1:20 dilution or farax O. For all operations.						المجموعة الاولى	منتجات شركة ايسو
IL 2008 at 1:20 dilution or Dorton 12. For all operations.						المجموعة الثانية	Esso Petroleum

IL 2008 at 1:20 dilution or Dorton 14.For all operations.						المجموعة الثالثة	Co. Ltd.
Energol SB4. For all Operations.						المجموعة الاولى	منتجات شركة النفط
Energol SB4.For all operations	Sevora 22			Sevora 22		المجموعة الثانية	البريطانية British Petroleum Co. Ltd.
Energol SB4.For all operations	Sevora 22			Sevora 22		المجموعة الثالثة	



## **الفصل العاشر**

### **تآكل النحاس وسبائكه**

Corrosion of Copper and Its Alloys





## الفصل العاشر

### تآكل النحاس وسبائكه

#### Corrosion of Copper and Its Alloys

#### 10- 1 المقدمة:

يعتبر النحاس و الكثير من سبائكه من المعادن النبيلة (Noble Metals) اي التي لها مقاومه عاليه نسبياً للتآكل (corrosion). و غالباً ما يكون النحاس او احدى سبائكه ملائماً للعديد من التطبيقات الصناعيه، وبالأخص تلك التطبيقات التي تبرز فيها مشكلة التآكل وكما هو مبين ادناه:

#### 1- التطبيقات التي تتعرض فيها السبيكه للمحيط الجوي :

تستخدم سبائك النحاس في صناعة التماثيل واللوحات الفنيه والسقوف الثانويه وواجهات البنايات واعمال الديكور والعمله المعدنيه والميداليات والمنتجات المعدنيه الاخرى كالأقفال ومقابض الابواب وغير ذلك من الأعمال الاخرى.

#### 2- التطبيقات التي تتعرض فيها للمياه:

كالانابيب والهياكل والاجزاء المختلفه في المبادلات الحراريه (Heat exchangers) والمكثفات (Condensers)...الخ.

#### 3- التطبيقات التي تتعرض فيها للمواد الكيميائيه:

وتستخدم في محطات الطاقة والبواخروالادوات التي تتعامل مع المواد الكيميائيه. ان النتائج والبحوث المختبريه هي وإن كانت تعطي مؤشرات جيدة على معدل التآكل لكنها غير كافيه لتحديد نسبة التآكل في معدن من دون الاخذ بنظر الاعتبار خبره السنين الطويله وبياناتها. فقد تم جمع المعلومات التي تخص هذا الموضوع كنتائج التطبيقات الصناعيه خلال العقدين الماضيين من قبل جهات علميه متخصصه كمنظمة المعادن الامريكيه (ASM) وذلك لما لهذه الظاهره(التآكل) من خطوره على اغلب المعادن

والسبائك حيث يعد أحد أهم أسباب الفشل (Failure) الذي يحصل في أداؤها وبصورة مفاجئة بالرغم من الفحوصات الدورية المستمرة. اما اذا اجتمع اكثر من سبب فسوف يحصل الفشل بمدة اقصر على سبيل المثال الكلال التاكلي (Corrosion fatigue) وتشقق التاكل الاجهادي (Stress corrosion cracking) .

ومن اجل تحديد مدى التاكل في المعدن يمكن اعتماد عملية القياس في حالات التاكل المنتظم حيث يمثل مقدار الفقدان في السمك او القطر او الابعاد الاخرى. وفي حالة التاكل غير المنتظم فمن المستحسن ان يتم قياس عمق التاكل في عدة مناطق من النموذج الواحد ويتم اخذ المعدل الاحصائي ليعطي مؤشرا عن مقدار التاكل الحاصل في المعدن.

وقد صنعت اجهزة حديثة لقياس معدل التاكل (mm/year) او نحو ذلك من الوحدات وخلال اقل من خمسة دقائق وبدقة عالية جدا وفي اي وسط (محلول) مطلوب وعند الظروف الملائم. وهذه الاجهزة مسيطر عليها حاسوبيا (Computerized) وتدعى (Potentiostat / Galvanostat) وتعطي سلوك التاكل للسبيكة على شكل رسم بياني بين جهد التاكل والتيار ومنه يمكن معرفة جهد الدائرة المفتوحة (Open circuit potential) اضافة الى معرفة اي من السبيكتين، على سبيل المثال، أكثر نبلا من الأخرى و ما يتعلق بذلك من المعلومات.

وتختلف نسبة التاكل من معدن الى اخر في الوسط مثلما تختلف من وسط الى اخر وحسب مدة التعرض لذلك الوسط، ومن هذه الاوساط ما ياتي:

- 1- الهواء الجوي
- 2- الماء بأنواعه
- 3- التربه
- 4- الانجرة
- 5- المواد الكيميائية

## 10-1-1 التعرض للهواء الجوي (Atmospherical exposure)

ان النحاس وسبائكه المختلفة ملائمة لاستخدامها في الهواء ولجميع الاجواء عدا تلك التي تحتوي على غاز الامونيا وما شابه ذلك، حيث لوحظ من الناحية العملية حصول تشققات التاكل الاجهادي (Stress corrosion cracking) في السبائك النحاسية الحاوية على الخارصين بنسبة تزيد على 20%. ولذلك فان اختيار السبائك النحاسية في مختلف الاجواء يتوقف على تكوينها الكيميائي وخواصها اللونية والسطحية.

## 10-1-2 التعرض للتربة (Exposure to soil)

يستخدم النحاس وبعض المعادن الاخرى تحت الارض لكثير من التطبيقات، حيث يمكن تقسيم التربة الى اربعة انواع هي:

1- تربة حامضية جيدة التهوية قليلة الاملاح (Well aerated soil)

2- تربة رديئة التهوية (Poorly aerated soil)

3- تربة قاعدية كثيرة الاملاح (Alkaline clay)

4- تربة كبريتيدية (High sulfide soil)

يبين الشكل (1-10) مقارنة لنسبة التاكل الحاصلة في كل من الحديد والخارصين والرصاص والنحاس وفي الانواع الاربعة من الترب، حيث يتضح ان النحاس يبدي مقاومة كبيرة نسبيا للتاكل في هذه الترب والتي تمثل معظم انواع الترب التي تمت دراستها في الولايات المتحدة، وبامكان المختصين دراسة التربة وتحليلها من اجل تحديد نوعية السبيكة المناسبة وتحديد اسلوب معين للحماية المناسبة كاستخدام طريقة الحماية الكاثودية او استخدام الحجر الجيري للتبطين والتغليف الخ.

ومن خلال دراسة الهياكل المعدنية التي تكون على تلامس مع التربة لمدة طويلة يتضح ان النحاس وسبيكة برونز السليكون والبراص منخفض الخارصين (Low Zinc Brass) لها سلوك متشابه من حيث قابليتها على مقاومة التاكل في التربة. اما اذا كانت التربة محتوية على نسب مرتفعة من الكبريتات والكلوريدات وايونات الهيدروجين فانها

تسبب تاكلًا لهذه المعادن، كما وان نسب التاكل في البراص الحاوي على خارصين اكبر من 22 % تزداد كلما زادت نسبة الخارصين في السبيكة.

10- 1- 3 التعرض للماء (exposure to fresh water)

تستخدم الانابيب النحاسية بصفة عامة في نقل الماء النقي في العمارات السكنية وسخانات الماء وفي الصناعة والمختبرات وغيرها. وفيما يلي صورة مصغرة عن موضوع التاكل في النحاس وسبائكه بسبب تعرضها للماء

أ- النحاس:

تتحد المواد الموجودة في الماء مع الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون المذابين في الماء وتتفاعل مع النحاس مكونة طبقة واقية نسبيا، لذلك فان نسبة التاكل تكون قليلة في اغلب الحالات التي يتعرض فيها النحاس للماء حيث يتراوح معدل التاكل ( $5-25\mu\text{m/y}$ ) واكثر بقليل حسب نسبة الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون المذابين في الماء.

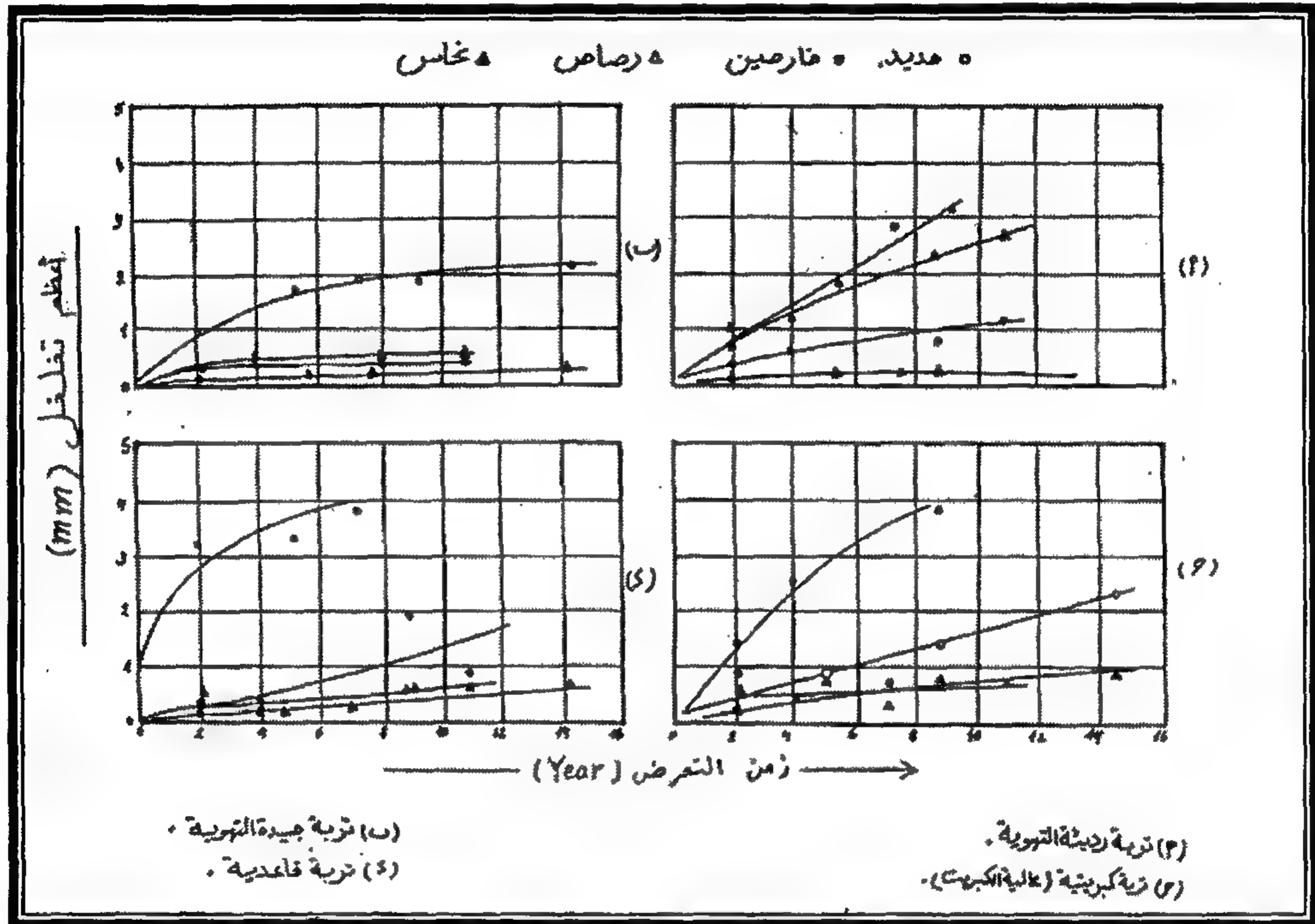
ب- البراص :

ان نسبة تاكل البراص في الماء الصافي اقل اذ يتراوح معدل التاكل ( $2.5-25\mu\text{m/y}$ ) وتكون اكبر من ذلك كلما زادت نسبة الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون في الماء ايضا. وعندما يكون الوسط المائي حامضي فان البراص المحتوي على 15 % خارصين او اقل يكون اقل عرضة للتاكل المعروف بظاهرة انتزاع الخارصين (Dezincification). لذلك فان هذا النوع من البراص يستخدم بنجاح في هذه الاوساط. اما سبائك النحاس الحاوية على نسبة خارصين تتراوح بين 35-40% فتكون اكثر عرضة لظاهرة التاكل المذكورة عند ملامستها المستمرة للماء الحامضي او اي وسط حامضي اخر. وكما هو معروف من الناحية العملية فان سبيكة برصاص الالمنيوم ( $77\text{Cu}21\text{Zn}2\text{Al}$ ) وحسب المواصفات العالمية تستخدم بنجاح في المبادلات الحرارية والمكثفات لمقاومتها للتاكل.



### ج- سبائك النحاس نيكل

يكون معدل التآكل في هذا النوع من سبائك النحاس اقل من  $(25\mu\text{m}/\text{y})$  وهي تستخدم لمقاومة التآكل الارتطامي (Impingement) عند التعرض لتيارات الهواء السريعة التي لا يمكن التغلب عليها بتغيير ظروف التشغيل او التصميم.



شكل (10 - 1)

مقارنة لتآكل المعادن في أنواع الترب المختلفة.

### د- سبائك النحاس - سيليكون

وتسمى برونزيات السيليكون، حيث تمتاز هذه السبائك بمقاومة عالية للتآكل كما ان نسبة الاوكسجين في الماء لا تشكل سببا لزيادة التآكل فيها خلافا لما في انواع البراص انفة الذكر. وعند وجود ثاني اوكسيد الكربون في الماء فان التآكل يزداد ولكن بنسبة قليلة خصوصا عند درجة حرارة  $(60^{\circ}\text{C})$ .



## هـ- سبائك النحاس - المنيوم

وتسمى برونزيات الألمنيوم، وتتماز هذه السبيكة بمقاومتها لعدة أنواع من التآكل وفي عدة أنواع من الأوساط المائية، كماء البحر والماء النقي وغيرهما. وبصورة عامة فإن الماء النقي يسبب التآكل أكثر من المياه الثقيلة، فمثلاً تستخدم سبيكتي برونز الألمنيوم (89Cu-7Al-3Fe) و (81Cu-9Al-4Fe-4Ni-1.5Mn) في تصاميم أبراج التبريد (Cooling Towers) وذلك لأن سبيكة برونز الألمنيوم تقاوم التآكل بسبب غشاء أكسيد الألمنيوم (الalumina  $Al_2O_3$ ) المتكون على سطحها.

### 10-1-4 التعرض للابخرة

للنحاس وسبائكه مقاومة عالية للتآكل عند التعرض للابخرة النقية، أما عندما يكون البخار مصاحباً للأكسجين أو ثاني أكسيد الكربون أو الأمونيا وينسب كبيرة فإن التكثف (Condensation) يمثل ظرفاً مسيئاً للتآكل. إن سبائك النحاس - نيكل هي الأنسب للأجزاء التي تتعرض لدرجة حرارة وضغط عالين، كما في حالات مرور الابخرة في المبادلات الحرارية والمكثفات. وإن عدداً من سبائك النحاس تعاني من تشقق التآكل - الإجهادي (Stress corrosion cracking) عند تعرضها للابخرة وبضغوط عالية، وسبيكة برونز الألمنيوم الخالي من القصدير هي إحدى سبائك النحاس التي يمكن أن تستخدم للغرض نفسه.

لا يتآكل النحاس وسبائكه بالبخار المتكثف (Condensated steam) الخالي من الغازات غير المتكثفة (غير القابلة على التكثف) حيث إن نسبة التآكل لا تزيد على  $(40 \mu m/y)$ ، كذلك لا يتآكل النحاس وسبائكه بالمواد المتكثفة الحاوية على الزيوت كما في المكائن البخارية الهزازة (العكسية) (Reciprocating Steam Engine)، أضف إلى ذلك أن نسبة التآكل تعتمد على محتوى البخار المتكاثف من أكسجين و ثاني أكسيد الكربون وهكذا، و المثال الآتي يوضح ذلك: مثال: تحتوي المادة المتكثفة على (4.5ppm) من الأكسجين و (14ppm) من ثاني أكسيد الكربون وحموضته (pH=5.5) وعند درجة حرارة (68°C) وتسبب معدل تآكل يتراوح بين  $(175-350 \mu m/y)$  في كل من النحاس

الزرنيخي (Arsenical Copper)، والنحاس الفسفوري كامل الاختزال (Phosphorus Deoxidized Copper) والبراص الاحمر والنحاس - نيكل (CuNi20)، بينما يتاكل الفولاذ وتحت نفس الظروف اعلاه بضعف المعدل المذكور للسبائك النحاسية، وعند طلاء النحاس بالقصدير (Tin coated copper) فانه يقاوم التاكل بصورة افضل اذ يقل معدل التاكل الى حوالي (25µm/ y).

ومن اجل الوصول الى اطول عمر للاجهزة التي تتولد فيها المادة المتكاثفة تتبع الاحترازاآت الاتية:

- 1- التأكد من ميل الانابيب بصورة صحيحة لتأمين انسياب المادة المتكاثفة بصورة مناسبة (proper drainage).
  - 2- تقليل نسبة الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون المذابين في الماء الى الحد الادنى، مهما امكن، وبالطرائق الكيميائية والميكانيكية المألومة.
  - 3- معالجة الابخرة كيميائيا.
  - 4- تحذير العاملين في محطات توليد الابخرة (Boiler houses) من استخدام الامونيا والتي ترفع مقدار قاعدية الماء وذلك لان اضافة الامونيا تسبب التلوث (Contamination) والتاكل بدرجة كبيرة في المكثفات والمبادلات الحرارية.
- 10- 1- 5 التعرض للمياه المالحة:

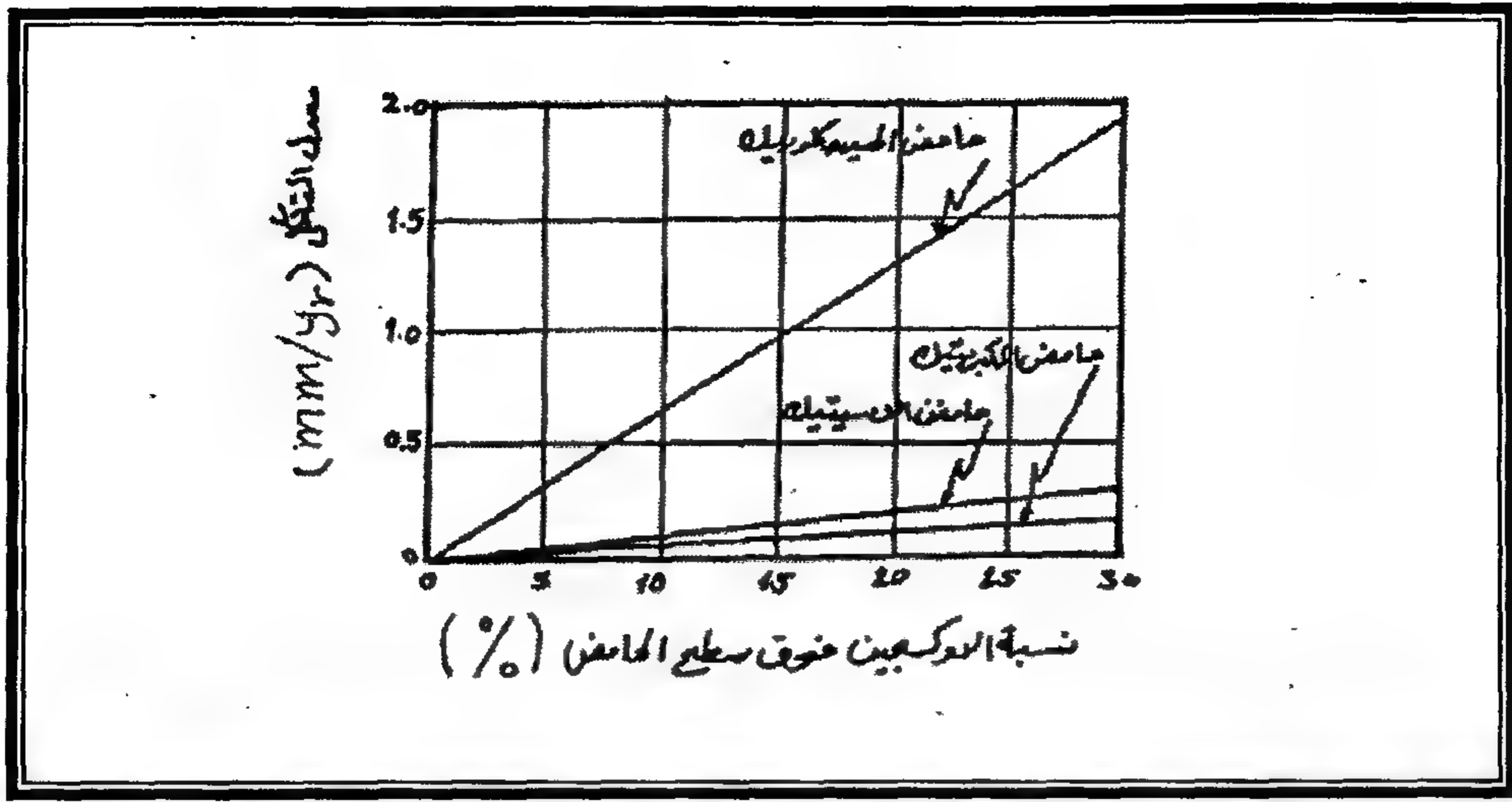
يستخدم النحاس وسبائكه في الاجهزة والمعدات التي تتعرض للمياه المالحة او ماء البحر (Sea water) كبعض اجزاء البواخر ومحطات توليد الطاقة، حيث تمتاز السبائك النحاسية المخصصة لهذا الغرض بمقاومة عالية للتاكل وهي اكبر، عادة، من مقاومة النحاس النقي للتاكل. ومن الامثلة على هذه السبائك سبيكة برصاص قصدير (71Cu28Zn1Sn) و برونزالمنيوم (89Cu7Al3Fe0.5Sn) وسبائك النحاس نيكل (CuNi10) و (CuNi30).

وتتمتاز هذه السبائك بقابليتها العالية على مقاومة التفاعل مع مياه البحر وذلك بتوليد طبقة اوكسيدية تقاوم التاكل الاضافي الذي يحصل بسبب تيارات الماء الدوامية والتي تحمل بعض الهواء معها. وعندما تكون سرعة الماء عالية فانه من المفضل من الناحية العملية استخدام احدى سبائك النحاس نيكل انفة الذكر.

## 10- 1- 6 التعرض للحوامض

تنقل المحاليل الحامضية غير المؤكسدة (Non-Oxidizing) كما في حامض الهيدروكليك والخلليك والكبريتيك والفسفوريك باستخدام سبائك النحاس وبصورة ناجحة طالما تبقى نسبة الوسط المؤكسد (الاوكسجين او ايونات الحديد ----الخ) منخفضة.

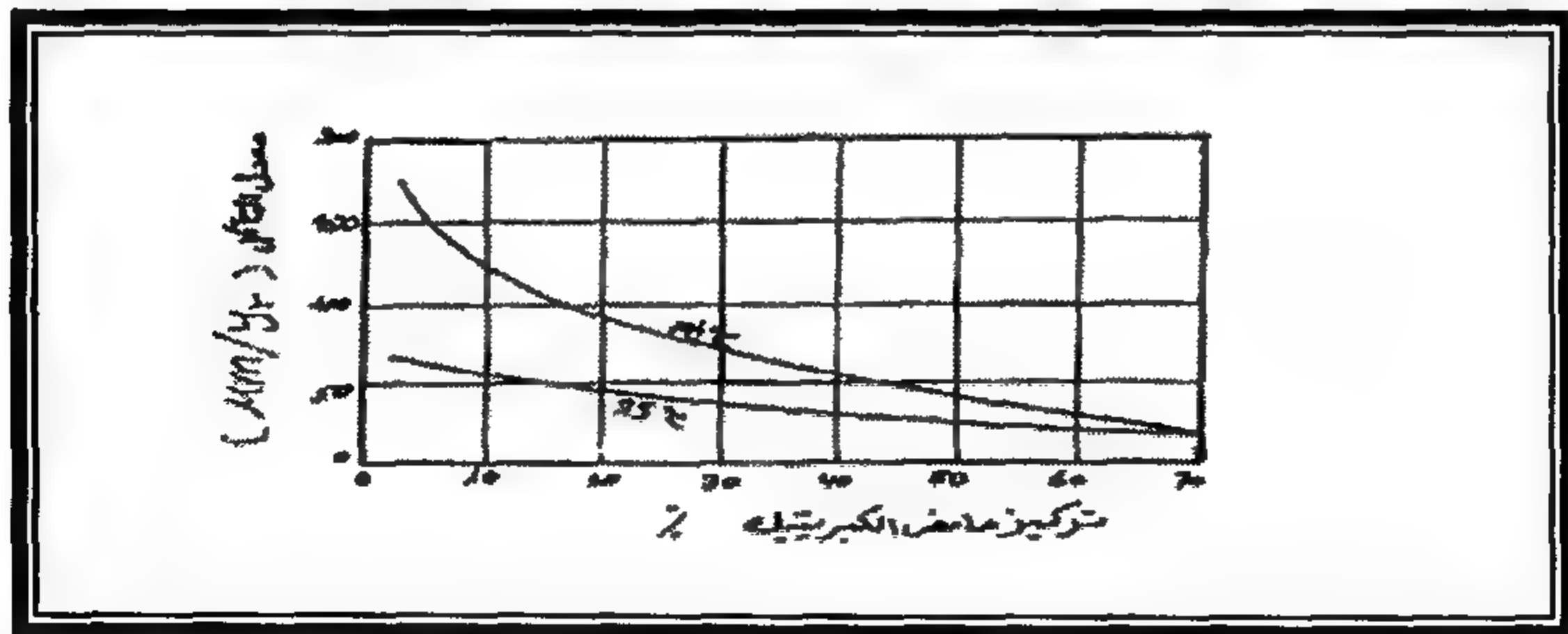
اما بالنسبة الى المحاليل الحامضية المؤكسدة (Oxidizing) كما في حامض الكبريتيك المخفف وحامض النتريك وسواهما فانها لا يمكن ان تنقل او تحفظ في الاواني المصنعة من سبائك النحاس والشكل (10-2) يبين تاثير الاوكسجين الموجود فوق سطح الحامض في زيادة معدل التاكل في كل من الحوامض غير المؤكسدة (الهيدروكلوريك HCl والكبريتيك H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> والخلليك CH<sub>3</sub>COOH ) علما بان تركيز المحاليل كان (1.2N) وان النماذج غمرت في هذه المحاليل لمدة 24 ساعة وعند درجة حرارة 24 °C، وتم تغيير نسبة الاوكسجين في الفضاء، فوق سطح الحامض لكل فترة 24 ساعة.



الشكل (10-2)

تأثير الاوكسجين في تآكل النحاس لتركيز (1.2N) لعدد من الحوامض.

ويبين الشكل (10-3)، معدل تآكل سبيكة النحاس (97Cu3Si) في حامض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) حيث تم غمر النماذج لمدة 48 ساعة وفي درجة حرارة معينة وبدون تهوية، ومنه يتضح انه كلما زاد تركيز محلول حامض الكبريتيك يقل معدل التآكل في هذه السبيكة ويقل المعدل كذلك لنفس التركيز عندما تقل درجة الحرارة.



شكل (10-3)

معدل تآكل سبيكة (97 Cu3Si) في حامض الكبريتيك.



ويمكن المقارنة بين معدلات التاكل لثلاثة حوامض مختلفة في الجدول (1-10). اما بالنسبة الى بقية الحوامض كحامض الفسفوريك والخليك والفورميك والماليك وما شابه ذلك فانها جميعا تسلك سلوكا مشابها لسلوك حامض الكبريتيك.

#### جدول (1-10)

معدل التاكل لسبيكة (97Cu3Si) في ثلاثة انواع من الحوامض عند درجة حرارة الغرفة.

الحامض	معدل التاكل um/year
حامض النتريك تركيزه 32%	240
حامض الهيدروليك المركز	0.75
حامض الكبريتيك تركيزه 17%	0.15

#### 10 - 1 - 7 التعرض للمحاليل القاعدية:-

تقاوم سبائك النحاس التاكل الذي تسببه المحاليل القاعدية (Alkaline Solutions) ما عدا تلك التي تحتوي على هيدروكسيد الامونيوم او المركبات المهدرجة لهيدروكسيد الامونيوم او سيانيدات الامونيوم (Hydrolize to Amonium Hydroxide or Cyanides) حيث يتفاعل هيدروكسيد الامونيوم مع النحاس مكونا مركبات من ايونات النحاس الموجبة والمعقدة والقابلة للذوبان (Soluble Complex copper cations) بينما تتفاعل السيانيدات مكونة مركبات من ايونات النحاس السالبة والمعقدة والقابلة للذوبان ايضا (Soluble Complex Copper Anions)، اما بالنسبة الى بقية المحاليل القاعدية فان معدل التاكل (Corrosion rate) الذي تسببه في سبائك النحاس - نيكل يتراوح بين (50-500µm/ y) عند درجة حرارة الغرفة، بينما يصل معدل التاكل بين (500-1750µm/ y) في المحاليل المعرضة للهواء وعند درجة حرارة الغليان وكمثال على ذلك فان سبيكة النحاس - نيكل (CuNi30) تتاكل بمعدل (5µm/ y) في محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) الذي تركيزه العياري بين (1-2N) وعند درجة حرارة الغرفة، بينما يصل معدل التاكل الى الضعف او ثلاثة اضعاف عند درجة حرارة الغليان.



اما بالنسبة لهيدروكسيد الامونيوم ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) فعند خزن المحلول في اوعية من النحاس و سبائكه فسيحدث تاكل سريع فيها مقارنة مع معدلات التاكل الذي تحدثها هيدروكسيدات المعادن الاخرى وذلك بسبب سهولة تكوين مركبات معقدة من النحاس والامونيا كما اسلفنا. ومع هذا نجد وفي بعض التطبيقات الصناعية التي يكون فيها محلول هيدروكسيد الامونيوم غيرنقي فان معدل التاكل يكون قليلا.

#### 10-1-8 التعرض لمحاليل الاملاح

يستخدم النحاس وسبائكه في تصنيع معدات نقل محاليل الاملاح المختلفة وبالاخص الاملاح الطبيعية كاملاح الصوديوم والبوتاسيوم (النترات والكبريتات والكلوريدات) حيث تعتبر الكلوريدات اكثر من بقية الاملاح فعالية في احداث التاكل وخاصة عندما تكون تهوية المحلول جيدة، اما عن العوامل المؤثرة في معدل التاكل فهي مقدار (مدى) تهوية المحلول ودرجة حرارته.

#### 10-1-9 التعرض للمركبات العضوية:

يقاوم النحاس وسبائكه التاكل الذي تسببه المركبات العضوية (Organic Compounds) كالامينات (Amines) والاسترات (Asters) والكلايكولات (Glycols) والايثرات (Ethers) وسواها حيث ان معدل التاكل فيها قليل نسبيا ويزداد اذا شيت (خلطت) بمحاليل حامضية اوقاعدية او املاح او بعض منها وخاصة عند درجات الحرارة العالية.

النفط الابيض (الكاز) (Kerosene) وهو من المنتجات النفطية والتي لا تسبب تآكلا للنحاس وسبائكه، الا انه وخلال المسلك الصناعي لانتاج مثل هذا النوع من المنتجات لابد ان تتلوث المعدات النحاسية بالماء او الحوامض او الكبريتات او اية مواد اخرى والتي قد تجعل النفط الابيض مسببا للتاكل. وفي الواقع الصناعي تستخدم السبيكتين ( $\text{CuNi30}$ ) و ( $71\text{Cu}28\text{Zn}1\text{Sn}$ ) في تصنيع المعدات الخاصة بتصفية او تكرير النفط الابيض لكونها اكثر سبائك النحاس مقاومة للتاكل الذي يحدثه النفط الابيض الملوث.

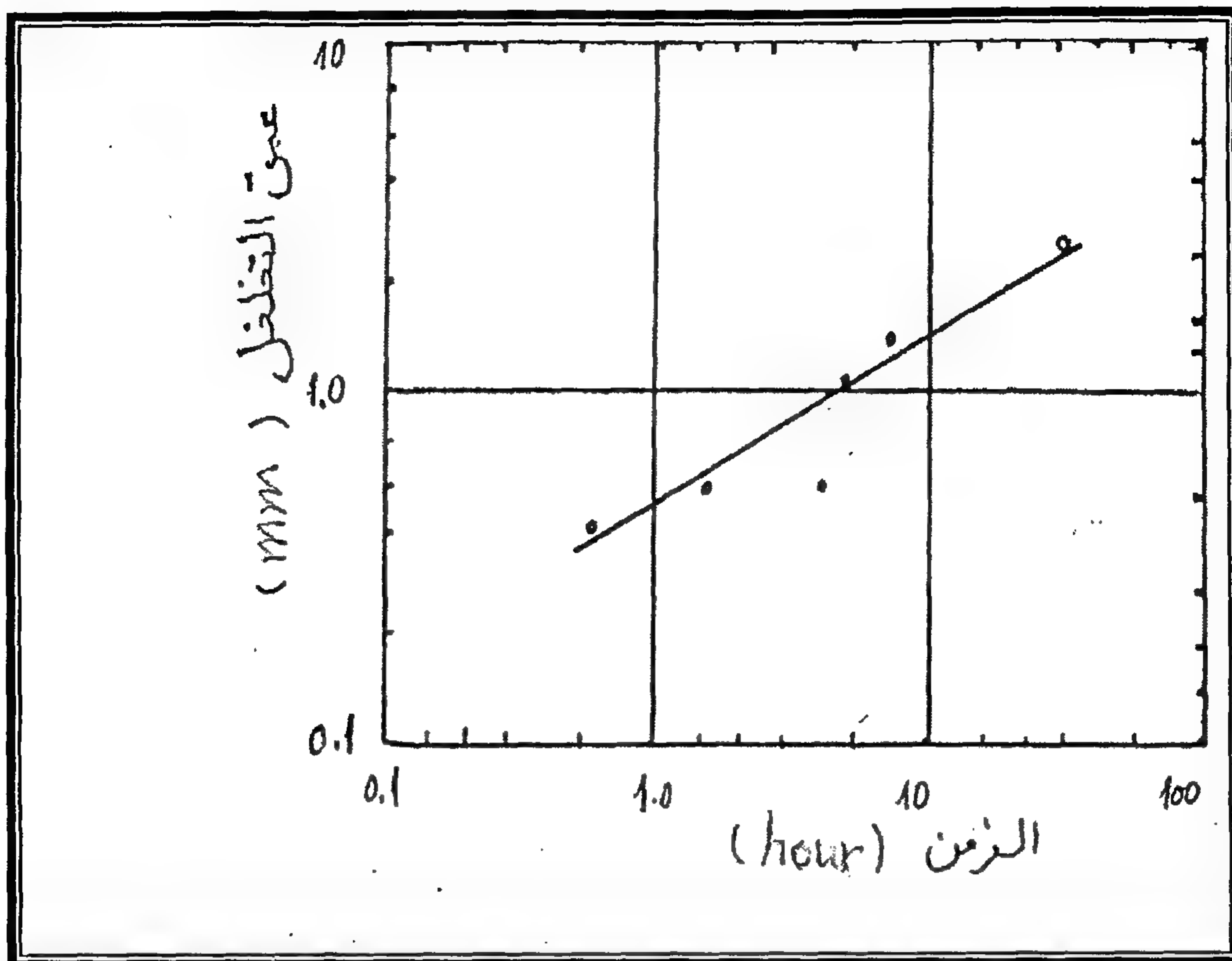
## 10-1-10 التعرض للغازات

أ- اول اوكسيد الكربون (CO) وثاني (ثنائي) اوكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>)

وهما لا يؤثران في النحاس وسبائكه لانه لا يحصل التاكل الا عند وجود البخرة حيث يعتمد معدل التاكل على مقدارها ولذلك فان المعدات التي تستخدم لحفظ او نقل اول اوكسيد الكربون تحت ضغط عال تبطن ببطانة من النحاس او احدى سبائكه وذلك لان بعض انواع الفولاذ التي تصنع منها الانابيب، على سبيل المثال، تتآكل بوجود هذا الغاز.

ب- الهيدروجين (H<sub>2</sub>)

من المستبعد حصول التاكل في النحاس وسبائكه الخالية من الاوكسجين او اكاسيد النحاس في بنيتها المجهرية بسبب تعرضها للهيدروجين، فعلى سبيل المثال، فان النحاس الالكتروليقي غير كامل الاختزال (ETPCu) يحتوي على بعض من اكاسيد النحاس وبكميات قليلة وكذلك الحال في النحاس غير كامل الاختزال والمنقى بالنار (FRTPCu) حيث ان وجود الاوكسجين في بنية المعدن يؤدي لتكون الماء بسبب انتشار الهيدروجين الى داخل المعدن وتفاعله مع الاوكسجين عند درجات الحرارة العالية (اعلى من 375°C)، وعندما تزداد درجة الحرارة عن ذلك يتولد بخار ماء والذي بدوره يؤدي الى خفض مطيلية (Ductility) المعدن حيث تسمى هذه الظاهرة بهشاشة الهيدروجين (Hydrogen embrittlement) والشكل (4-10) يبين مدى خطورة هذه الظاهرة (تغلغل او انتشار الهيدروجين) في النوع الاول من النحاس (ETPCu) بعد تسخينه، في محيط من الهيدروجين، الى درجة (600 °C) ولأزمان مختلفة.



شكل (10-4)

عمق تغلغل الهيدروجين في النحاس (ETPCu) عند درجة الحرارة  $600^{\circ}\text{C}$  و لأزمان مختلفة.

### ج- الاوكسجين الجاف

تستخدم انايب النحاس وسبائكه في نقل الاوكسجين الجاف عند درجة حرارة الغرفة كما في انظمة توزيع الاوكسجين في المستشفيات، واثناء مروره داخل الانابيب قد ترتفع درجة حرارته فتتولد اكاسيد النحاس، نتيجة لتفاعله مع النحاس، وتكون على شكل طبقة رقيقة حيث يختلف لونها كلما زاد سمكها وكما في الجدول (10-2).

## جدول (10-2)

علاقة لون طبقة الاكسدة بسمكها.

لون طبقة الاوكسيد	سمكها (nm)
بنى غامق	37-38
بنى غامق جدا	45-46
بنفسجى	47-49
ازرق غامق	50-52
اصفر	94-98
برتقالى	110-120
احمر	124-126

## 10- 2 الصفات المميزة للتاكل في النحاس وسبائكه :

يستخدم النحاس وسبائكه في المجالات العديدة والتي تعد اوساطا ضارة ومعادية للمعادن الاخرى. ويقاوم النحاس الظروف الجوية والمياه الاعتيادية والمياه المالحة والمحاليل القاعدية (عدا تلك التي تحتوي على هيدروكسيد الامونيوم والمركبات المهدرجة كما مر ذكره) والمركبات العضوية. ان مقاومة النحاس للتاكل في المحاليل الحامضية يعتمد على نوعية الحامض وتركيزه ودرجة حرارته وغير ذلك من الظروف. ويعتبر النحاس المعدن المناسب للاستخدام في العديد من المحاليل الملحية.

يتعرض النحاس وسبائكه، كغيره من المعادن، الى انماط مختلفة من التاكل وتعتمد نوعية التاكل اساسا على حالة الجو او المحيط ويمثل الجدول (10-3) صفات وحالات التاكل الشائعة للحصول للنحاس وسبائكه وطرائق منعه او تقليله.



### جدول (10-3): حالات التآكل وصفاته المميزة مع طرائق تقليله.

طريقة منعه او التقليل منه	صفته	حالة التآكل
عزل المعدن عن الوسط المحيط به بناء على مقدار فقدان الوزن الناتج عن التآكل في ذلك الوسط فيوضع في الوسط الاقل	الازالة الموحدة المنتظمة للمعدن	الترقيق العام General thinning
أ- تجنب تماس المعادن غير المتشابه في الجهد ب- اعتماد النسبة المفضلة لمساحة الانود الى الكاثود ج- اعتماد التركيز الافضل للمادة المؤكسدة في محلول التآكل	تآكل يحدث قـرب منطقة المهبط (الكاثود) (cathode)	التآكل الكلفاني Galvanic Corrosion
التصميم بادخال التصدع بالاعتبار وابقاء المعدن نظيفا.	التنقر بوجود الماء، التآكل التصديعي وبوجود الاجسام الغريبة والاساخ	التنقر pitting خلية التركيز Concentration cell
التصميم على اساس الجريان المنتظم والمحافظة على سرعة جريان قليلة، ازالة الغازات من الموانع	تآكل ناتج عن الجريان المضطرب للسوائل والغازات ويكون على هيئة خطوط من التنقروباتجاه جريان المائع	ب- الارتطام Impingement
تزييت المنطقة المحتمل حدوث الاحتكاك فيها، عزل مناطق الحركة النسبية بادخال اوراق بين مساحات المعدن وتقليل العمل على سطوح الاجزاء المتماسمة من المعدن والمرتكزات.	تنقر ناتج عن الاحتكاك القليل بسبب الازاحات النسبية القليلة جدا اي حتى على المدى المرن، يحدث غالبا عند شحن المعدات	ج- بلي الفرك Fretting Wear
عزل السبيكة مهما امكن عن المحيط او الوسط المسبب لهذه الازالة وحسب التكوين الكيميائي للسبيكة.	كما في حالة ازالة الغارمين او القصدير من السبيكة لينتج عن ذلك طبقة من النحاس الاسفنجي.	د- انتزاع بعض مكونات السبيكة Dealloying
عزل السبيكة عن الوسط الاكسال وحسب التكوين الكيميائي لها، تقليل او ازالة الاجهادات بنوعيتها الداخلي والخارجي، ازالة مركبات الزئبق او الامونيا من الوسط المحيط.	التشققات التي تحدث ضمن اوبين البلورات (grains) بسبب الاجهادات الخارجية او الداخلية المتواجدة.	هـ- تشقق التآكل الاجهادي Stress corrosion cracking
عزل السبيكة عن الوسط الاكسال وتقليل الاجهادات الدورية.	تشققات متعددة ضمن البلورات بسبب الاجهاد الدوري المسلط.	و- تآكل الكلال Corrosion Fatigue
عزل السبائك عن الوسط الاكسال وفحص البنية الدقيقة للسبيكة دوريا	تآكل على طول الحدود البلورية وبدون ظهور مرئي للتشققات	ز- التآكل بين البلـورات corrosion Intercrystalline



## 10- 2- 1 انواع التاكل

## أ- التاكل العام (General corrosion):

وينتج عن تعرض سطح المعدن لوسط التفاعل مؤديا الى مهاجمة السطح والتغلغل فيه ليؤدي ذلك الى تاكل السطح. ويمكن حساب معدل التغلغل بطريقة فقدان الوزن (Weight-loss data). ويحصل هذا النوع من التاكل عند التعرض لفترة طويلة للوسط المساعد على ذلك حيث يكون معدل التاكل بطيئا في العادة. كما هي الحال في المياه العذبة والمالحة وعدة انواع من الترب والمحاليل القاعدية والحامضية والاملاح والاحماض العضوية، اضافة الى المواد الاخرى المسببة للتريق (Thinning) وبسرعة نسبية حيث تحوي احماضا مؤكسدة وامونيا وسيانيدات.

## ب- التاكل الكلفاني (Galvanic corrosion):

وهو التاكل الناتج بسبب فرق الجهد الكهروكيميائي والحاصل بين معدنين مختلفين في الجهد مغمورين في محلول موصل للكهربائية (Electrolytic Solution) أحدهما يحصل فيه التاكل (ذو القطبية الموجبة) ويدعى المصعد (anode) ويحفظ الاخر جزئيا او كليا من التاكل ويدعى المهبط (cathode) (ذو القطبية السالبة). يسلك معدن النحاس غالبا سلوك المهبط (Cathode) بالنسبة للمعادن الاخرى كالفلوذاز والالمنيوم، فعندما يوضع النحاس على تلامس مع احدهما فان معدل التاكل للفلوذاز او الالمنيوم سيزداد حيث يسلك النحاس هنا سلوكا مهبطيا (cathodic)، بينما لو وضع الفلواذاز المقاوم للصدأ (Stainless steel) بتماس مع النحاس فيسلك سلوكا مغايرا أي إما ان يكون مصعدا (Anode) او مهبطا (Cathode) اعتمادا على حالة التعرض.

ان جهد التاكل للنحاس هو (-0.2 to -0.4mV) عندما يقاس مقابل عمود كهربائي مشبع كما ان جهد النحاس النقي حوالي (-0.3mV). وعند اضافة الخارصين او الالمنيوم الى النحاس فانهما سيغيران الجهد نحو نهاية حدود المصعد بينما لو أضيف النيكل او القصدير سيغيران الجهد نحو المهبط (Cathode). ويبين الجدول (4-10) تسلسل المعادن

والسبائك من حيث تأثيرها بالكلفة في وسط حامضي ضعيف او ماء البحر، كما ان المعادن القريبة من بعضها لا تتأثر بعملية الكلفة عند تماسها او وجودها في اوساط اكلة. اما المعادن المتباعدة عن بعضها ضمن السلسلة فيحصل لها تغيير بالنسبة للمعادن التي تسلك سلوكا مصعديا (Anodic) وكلما كانت المجموعة متباعدة عن بعضها اكثر كلما كان التاكل اكبر.

#### جدول (4-10)

تسلسل المعادن وسبائكها من حيث تأثيرها بعملية الكلفة.

الفضة ↓	Cu39.2Zn0.8Sn60 ↓	سبيكة النيوم 2024 ↓	نهاية المصعد (anode)
الذهب	نيكل (فعال)	فولاذ واطيء الكربون	مغنيسيوم ↓
البلاتين	70Cu-30Zn	فولاذ مطاوع (Mild steel)	سبائك المغنيسيوم
نهاية المهبط (Cathode)	71 Cu-28Zn-1Sn	حديد الزهر (Cast iron)	خارصين
	برونزيات الالمنيوم	نيكل مقاوم Ni-Resist	فولاذ مغلون (مطلبي)
	91 Cu-7Al-2Fe	فولاذ مقاوم للصدأ (416)	بالخارصين
	90 Cu-10Zn	(فعال)	سبيكة الالمنيوم H 5052
	نحاس Cu	50Pb-50Sn	سبيكة النيوم 3004
	98.5Cu-1.5Si	فولاذ مقاوم للصدأ (304)	سبيكة النيوم 3003
	70 Cu-30Ni	(فعال)	سبيكة النيوم 4100
	نيكل (غير فعال)	فولاذ مقاوم للصدأ (316)	سبيكة النيوم 6053
	فولاذ مقاوم	(فعال)	النيوم مكسي (Clad Al)
	للصدأ (304) (غير فعال)	رصاص	كادميوم
	فولاذ مقاوم	قصدير	سبيكة النيوم 2017
	للصدأ (316) (غير فعال)	60Cu-40Zn	
		برونز المنغنيز C67500	

ومن العوامل المؤثرة في عملية التآكل الكلفاني هي:-

- 1- التوصيلية الكهربائية بين المعادن والتي تؤثر في معدل التآكل.
  - 2- منطقة الربط بين المعدنين حيث يحدث اعظم تآكل عند منطقة الربط.
  - 3- اختلاف الجهد (Potential) بين المعدنين.
  - 4- نسبة مساحة سطح المهبط (Cathode) الى المصعد (Anode)، حيث يزداد معدل التآكل اذا كانت النسبة كبيرة، على سبيل المثال، لو استخدم لربط صفائح الفولاذ برشام من النحاس (Copper rivet) فان معدل التآكل اقل بكثير مما لو استخدمت صفائح نحاسية مربوطة برشام من الفولاذ.
- وهناك خمسة طرائق رئيسة لتقليل او تحديد ظاهرة التآكل الكلفاني وهي:
- 1- عزل المعادن غير المتساوية بالجهد بمادة عازلة كهربائيا عند الربط.
  - 2- تجنب اختيار نسبة مساحة مصعد (Anode) الى مساحة مهبط (Cathode) صغيرة.
  - 3- تجنب استخدام المعادن ذات الفرق الكبير في الجهد قدر الامكان.
  - 4- استخدام طلاء جيد للمعادن و خصوصا المهبط (Cathode).
  - 5- استخدام مصعد التضحية (Sacrificed anode) وهو استخدام معدن ثالث يعمل كمصعد (anode) للمعدنين.

ج- التآكل النقري (Pitting Corrosion):-

يحصل هذا النوع من التآكل في مختلف المعادن كما يحصل في النحاس وسبائكها ايضا وتحت ظروف محددة، حيث يبدأ بهجوم (تفاعل) موضعي (Local attack) على مناطق متعددة وينتج عنه حفر في سطح المعدن مختلفة الاقطار والاشكال لتعطي سطحا متنقرا وقد تنتشر النقر لتشمل كامل السطح. ويؤدي التنقر الى التقليل من المساحة المعرضة وبالتالي من طاقة التحمل، ويزيد من تركيز الاجهادات في مناطق النقر، ويحصل التنقر عادة في السطح غير جيد التغطية او الطلاء او نتيجة لوجود اوساخ (تلوث) على سطح المعدن.

ويضم التنقر عدة انواع واليات منها التشقق او التصدع والتصادم مع تيار مائي و الارتطام والاحتكاك والخلايا المركزة وتمثل انواعا خاصة. ويتكون التنقر نتيجة تكوين خلايا كهربائية موضعية بسبب الاختلاف في ايونات المعدن او تركيز الاوكسجين عند الشقوق فتعمل كمصعد (Anode) بالنسبة للمعدن خارج الشقوق ويحصل التآكل خصوصا عند وجود الملوثات على السطح ومناطق الربط.

ان تعرض المعدن لتيار المائع يحدث تآكل التعرية (Erosion-corrosion) فيحصل عند ارتطام الغازات او الابخرة او السوائل مع سطح المعدن وبسرعة عالية نسبيا، كما المكثفات والمبادلات الحرارية، وتلاحظ بصورة واضحة عندما تكون المياه محتوية على بعض مركبات الكبريت او المياه الثقيلة او الغرينية او المالحة. ويحدث هذا النوع من التآكل في مناطق الاخاديد والانابيب الناقلة وخصوصا عندما يتغير قطرها وعند مناطق الانحناء الشديد فيها وقد تعطي هذه التنقرات شكل حذاء الفرس (horse shoe) نتيجة لتدفق السائل وتفاعله مع السطح. يحصل تآكل التعرية عندما يكون جريان السائل سريعا ومضطربا ويظهر جلجا عند مداخل الانابيب وانحناءاتها. ويمكن التقليل من هذا النوع من التآكل عن طريق تقليل سرعة السائل والتخلص من الهواء المخلوط معه وذلك بالعمل على تنظيم الجريان.

والشكل الاخر من التنقر ويدعى بلي الفرك (Fretting wear) حيث يظهر على شكل تنقر او اخاديد على سطح المعدن. ان الاسباب الاساسية لهذا النوع من البلي هي:

- 1- الحركة النسبية، حتى القليلة جدا، بين السطحين.
- 2- طبيعة السطح المحمل.
- 3- ان يكون الحمل والحركة كافيان لحصول تشوه في السطح.
- 4- وجود المحيط المساعد كالاوكسجين او الرطوبة مما يبرز هذا النوع من البلي بصورة واضحة.



لا يحصل البلي بصورة عامة في السطوح المزيتة و التي تكون فيها الحركة مستمرة الى حد ما، كما في مرتكزات اعمدة الادارة (Journal bearings) لان الزيت يمنع التماس المباشر للسطحين خصوصا عند السرعة العالية.

ولكن قد يحدث بلي الفرك (Fretting wear) في السطوح الجافة المتلامسة والمعرضة لازاحات نسبية صغيرة جدا حتى على المستوى المرن. ان اشد بلي يحصل هنا اثناء نقل الماكينات وما شابه ذلك حيث تتعرض الى الاهتزازات وحتى اثناء عمل الماكينة وما يصاحب ذلك من اهتزازات (Vibrations) فيتكون عندئذ في السطوح المتماسه.

ان هذا البلي غير مقتصر على النحاس وسبائكه وانما يشمل اغلب انواع المواد كالفولاذ والالمنيوم والميكا والزجاج وغيرها، ويمكن السيطرة على هذا النوع من البلي والحد منه بما ياتي:

- 1- تزييت السطوح، حتى المثبتة بلولب او برشام (Screw or rivet)، بزيوت خفيفة (ذات لزوجة قليلة) وذات ثبوت كيميائي عالي لتقليل الاحتكاك والتخلص من الاوكسجين.
- 2- عزل السطحين بادخال مادة عازلة بينهما كالورق.
- 3- زيادة شد اللولب او زيادة الحمل لتقليل الحركة بين السطحين المحتكين الى اقل حد ممكن.

د- نضوب او نزع بعض مكونات السبيكة (Dealloying):

وهو نوع من انواع التاكل يحدث في ظروف معينة للمعدن الاكثر فعالية مؤديا الى ازالته من السبيكة. ان سبائك نحاس خارصين التي تحتوي على اكثر من (15%) من الخارصين تكون عرضة لهذا النوع من التاكل ويدعى انتزاع او نضوب الخارصين (Dezincification) حيث تحصل ازالة للخارصين تاركا وراءه مسامية في السبيكة وتتكون طبقة من النحاس واوكسيده مما يؤدي الى ضعف التركيب اولا وتسرب السوائل الخارجية والغازات الى داخل تلك المسامات. يقع نزع مكونات السبيكة الموضعي (Plug-Type Dealloying) في مساحات معينة فقط، اما المساحات المجاورة



فتكون عادة غير متأثرة او تتأثر قليلا. اما سبيكة النحاس التي تحتوي على أكثر من 85% نحاس فتقاوم هذا النوع من التاكل. وتكون عملية نزع الخارصين من البراص الذي يحتوي الطور بيتا ( $\beta$ -Phase) والطور الفا ( $\alpha$ -phase) في بنيته، على مرحلتين الأولى للخارصين الموجود في الطور بيتا والعالي نسبيا ثم للخارصين الموجود في الطور الفا والواطيء نسبيا. ولذا تستخدم سبائك تحتوي على 1% قصدير لتقاوم نزع الخارصين او يضاف الى البراص قليل من الفسفور او الزرنيخ (Arsenic) او الانثيمون لمنع حصول هذا النوع من التاكل.

ان هذا النوع من التاكل قد يحصل في بعض السبائك الاخرى كما في حالة نزع الالمنيوم (Dealuminification) من سبائك النحاس - المنيوم، اونزع الكوبلت او النيكل وتحت ظروف خاصة.

#### هـ- التاكل بين البلورات (Intergranular Corrosion): -

تمتلك الحدود البلورية (الحبيبية) طاقة اعلى مما في داخل الحبيبات وهذا يعني ان ذرات الحدود البلورية لها طاقة أعلى من الذرات داخل البلورة (الحبيبة) ولذا يكون تفاعل الوسط (المحيط) معها اسهل من تلك التي في داخل البلوره اي يكون التاكل عند الحدود البلورية اسرع من بقية اجزاء البلورة (Grain) فتكون مقاومة الحدود البلورية للتاكل اقل في العادة. ويظهر هذا النوع من التاكل عند بعض التطبيقات في الاوعية التي تشمل استخدامات البخار عالي الضغط حيث يتغلغل التاكل الى عمق عدة بلورات. ومن السبائك التي تتعرض لهذا النوع من التاكل هي ( $60\text{ Cu}40\text{ Zn}$ ) و ( $71\text{ Cu}28\text{ Zn}1\text{ Sn}$ ) وبراص الالمنيوم وبرونزيات السليكون.

#### و- تاكل التشقق الاجهادي (stress corrosion cracking)

ويحدث في الغالب بين الحبيبات (Intergranular) وفي بعض الاحيان يكون تاكل ضمن الحبيبات (Trans granular corrosion). ويحصل هذا النوع فقط في حالة كون السبيكة معرضة لاطا كيميائية مؤثرة مع اجهادات شديدة سواء كانت داخلية (Internal) او خارجية (Applied Stresses).

وتعتبر الامونيا، ومشتقاتها اهم المواد المؤثرة في تاكل التشقق الاجهادي او التشقق الانبي (Season cracking) لسبائك النحاس، وفي بعض الاحيان تكون هذه المركبات موجودة في الجو بحالة نقية كغاز الامونيا او في بعض المواد الكيميائية المستخدمة لمعالجة المراجل، على سبيل المثال، ويتطلب ذلك وجود الاوكسجين والرطوبة لتكون هذه المركبات فعالة في حدوث التاكل في سبائك النحاس. اما المركبات الاخرى كثنائي اوكسيد الكاربون فوجوده من العوامل المساعدة على التاكل مع هذه المركبات. اما الرطوبة الموجودة على سطح السبيكة فتعمل على تحليل جزء من بخار او غاز الامونيا حتى الموجود في الجو (المحيط) ليصبح اكثر تأثيرا.

تعتبر الاوساط الكيميائية المعينة حتى في الجو والاجهادات الداخلية الشدية في السبيكة من اهم الاسباب المؤدية الى هذا النوع من التاكل. وتؤثر البنية الدقيقة (microstructure) للسبيكة ومكوناتها على معدل التاكل. ويمكن تجنب حصول هذا النوع من التاكل عن طريق اختيار السبيكة الملائمة وطريقة التشكيل والمعالجات الحرارية والتحسينات الانهائية لسطح المنتج.

مصادر الاجهادات: تتكون الاجهادات الداخلية في السبيكة بسبب العمليات الانتاجية التي تجرى عليها كعمليات التشكيل والتشغيل واللحام وغيرها والتي تسبب الاجهادات المتخلفة (Residual Stresses). وتكون على نوعين اما شدية (Tensile Stresses) وهي بدورها اما ان تكون شاملة كما في بعض العمليات الانتاجية او موضعية بسبب عمليات اللحام على سبيل المثال، اما النوع الاخر فهي الاجهادات التضاغية (Compressive Stresses) وتكون مفيدة في كثير من التطبيقات كما في عملية قذف السطح بالكريات الصلدة (Shot Peening) لتوليد اجهادات تضاغية عليه. اما الاجهادات الشدية المتخلفة في الانابيب المسحوبة بسبب تأثير زاوية القالب ونسبة التخفيض المنفذة على المعدن فلها تأثير كبير في حصول التاكل. فعند استخدام زاوية قالب اكبر تكون الاجهادات الشدية المتخلفة اعلى وبالتالي تاكل اسرع. اما بالنسبة

لمقدار التخفيض في السمك فان نسبة التخفيض (الاختزال) القليلة تسبب إجهادات ذات تأثير اكبر لكونها تكون على سطح المعدن في معظمها وليس في الطبقات الداخلية له. مكونات السبيكة: يمتلك البراص الذي يحتوي على نسبة خارصين اقل من 15% مقاومة عالية لتاكل التشقق الانى (الاجهادي). كما ان النحاس الحاوي على الفسفور له مقاومة للتاكل عالية بصورة عامة. وتكون مقاومة التاكل للسبيكة الحاوية على (20-40%) من الخارصين قليلة وتقل تدريجيا كلما زادت نسبة الخارصين حتى الوصول الى 40%. وليس هناك اية دلالة على ان اضافة بعض العناصر الاخرى تؤدي الى تقليل مقاومة البراص للتاكل. في حين يُعتقد ان وجود بعض العناصر كالفسفور والزرنيخ والمغنيسيوم والقصدير والبريليوم والمنغنيز يزيد من مقاومة السبيكة للتاكل. كما ان من المعلوم ان اضافة السليكون بنسبة (1.5%) يقلل من احتمال حدوث التشققات الاجهادية. طريقة السيطرة على التاكل: تتم السيطرة على او اعاقه حدوث التاكل باسلوب التشقق الاجهادي بما يأتي:

- 1- استخدام السبائك التي لها مقاومة عالية للتاكل، وخاصة تلك التي تحتوي على اقل من 15% من الخارصين.
- 2- محاولة تقليل الاجهادات الشدية المتخلفة بطريقة المعالجة الحرارية وبدون التأثير الواضح على الخواص الميكانيكية.
- 3- تغيير المحيط (الوسط) الفعال للتقليل من وجود المركبات الكيميائية المسببة للتاكل.

#### ز- التاكل الكلالي (Corrosion fatigue):

ويظهر هذا النوع من التاكل، عادة النوع النقري، نتيجة لوجود اجهادات دورية (Cyclic Stresses) على السبيكة وتزداد الحالة سوءا عند ظهور التشققات، بعد التنقر، بسبب الكلال الذي يؤدي الى فشل (Failure) الجزء بزمان اقصر، لان وجود التنقر مع الاجهادات الدورية (المتغيرة) يزيد من سرعة ظهور التشقق (التاكل الكلالي) اكثر من الاجهادات لوحدها، اي ان هناك سببان يتعاضدان لافشال الجزء المعدني. ومن

الجدير بالذكر ان النقر التي تظهر تعتبر مناطق تركيز للاجهادات ولهذا يعقب هذه المرحلة ظهور التشققات.

اذن يبدأ فشل التاكل الكلالي من التشققات العديدة التي تنشأ من التنقر والتي يصعب رؤيتها بالعين المجردة او التكبير القليل في البداية. ويمكن رؤيتها اما بمعاملة المنطقة كيميائيا (الاظهار) او اجراء فحص الشد للجزء او بوساطة الفحص بالتيارات الدوامة (Eddy Currents) ويحدث هذا التاكل في مجمل البلورة (Grain) عادة.

ييدي النحاس وسبائكه مقاومة جيدة للتاكل الكلالي، وهذا ما اثبتته نتائج التطبيقات العملية التي تحدث فيها اجهادات متغيرة في وسط معادي للمعدن. ولذلك فان النوابض والمفاتيح والحواجز وانايب الزيت و انايب المكثفات والمبادلات الحرارية تكون من السبائك ذات المقاومة العالية للتاكل الكلالي وتشمل نحاس - بريليوم و برونز الفسفور و برونز الالمنيوم ونحاس - نيكل.

## 10- 2- 2 تأثير التكوين الكيميائي للسبيكة

فيما ياتي استعراضا لمجاميع السبائك النحاسية من حيث تأثير التكوين الكيميائي على مقاومة التاكل:

### أ- البراص

يقاوم البراص التاكل في المحاليل المائية حتى نسبة 15% خارصين وتحدث عملية انتزاع الخارصين لنسبة اعلى من ذلك في المحاليل الملحية والمياه. وللمحاليل الحامضية المعتدلة تاثير كبير على زيادة معدل انتزاع الخارصين، كما ان وجود بعض العناصر كالرصاص او البريليوم او الكروم او الفسفور او المنغنيز لا يؤثر بصورة ملحوظة على مقاومة التاكل للنحاس والبراص حيث تضاف هذه العناصر لتحسين بعض خواص السبيكة.

### ب- البراص الحاوي على القصدير

ان اضافة القصدير لبعض انواع البراص يزيد من مقاومة التاكل وخصوصا مقاومة انتزاع الخارصين، ومن جملة هذه السبائك سبيكة (71Cu28Zn1Sn) وسبيكة



(60Cu39.2Zn0.8Sn). حيث تستخدم السبيكة الاولى في انايب المبادلات الحرارية اما الثانية فلها استخدامات عديدة اخرى.

#### ج- براض الالمنيوم:

تتكون طبقة رقيقة من اوكسيد الالمنيوم ( $Al_2O_3$ ) على سطح البراض المحتوى على الالمنيوم وتمتاز هذه الطبقة بقوة التصاقها بالمعدن الاساس وصلادتها العالية ولذلك فهي تحمي البراض من التاكل بصورة عامة، وكذلك الحال عند تاكل - التعرية (Erosion Corrosion) والذي ينتج عن ارتطام المائع وخاصة عند الجريان المضطرب (Turbulent) او عند وجود دقائق صلبة فيه. ولذلك فهي تستخدم في كثير من التطبيقات سواء في المياه العذبة او ماء البحر. فعلى سبيل المثال تستخدم السبيكة ( $76Cu22Zn2Al$ ) في انايب المبادلات الحرارية البحرية ودافعات السفن (Ship propellers) الا ان هذه السبيكة سريعة التأثير بظاهرة انتزاع الخارصين مالم يضاف اليها قليل من الزرنيخ وبنسبة تتراوح بين (0.02-0.1%).

#### د- برونز الفسفور:

ان اضافة القصدير والفسفور الى النحاس تولد مقاومة جيدة للتاكل الناتج من جريان ماء البحر والحوامض غير المؤكسدة، عدا حامض الهيدروكلوريك، والسبائك التي تحتوى على (8-10%) قصدير تمتلك مقاومة عالية لتاكل التعرية، الا ان سبيكة برونز الفسفور اقل تأثرا للتاكل بالتشققات الاجهادية (Stress Corrosion Cracking)، والتي تدعى في بعض الاحيان التشققات الفصلية (Season Cracking)، من سبيكة البراض.

#### هـ- سبيكة نحاس-نيكل:

تمتلك سبيكة ( $CuNi30$ ) مقاومة تاكل في الماء اعلى، بصورة عامة، من جميع سبائك النحاس التجارية، الا ان سبيكة ( $CuNi10$ ) هي التي يتم اختيارها لكونها ذات مقاومة جيدة وكلفة اقل. ان كلا السبيلتين وبالرغم من ملاءمتها للاستخدامات في الصناعات الكيميائية فقد استخدمتا ايضا في انايب المكثفات والمبادلات الحرارية في



المكائن البخارية. وهي افضل من النحاس او سبائكه الاخرى في مقاومتها للمحاليل الحامضية ومقاومتها لتاكل التشققات الاجهادية وتاكل التعرية.

و- سبيكة براض نيكل (الفضة الالمانية):-

تمتلك السبيكتان واسعتا الانتشار من هذا النوع، وهما (65Cu18Ni17Zn) و (55Cu27Zn18Ni)، مقاومة جيدة للتاكل في المياه العذبة والمالحة لاحتوائها على النيكل الذي يحد من ظاهرة انتزاع الخارصين. وتعتبر السبيكتان افضل من سبيكة البراض التي تحتوي على نفس نسبة النحاس بالنسبة لمقاومة التاكل في المياه المالحة.

ز- سبيكة النحاس سليكون:-

تمتلك هذه السبيكة، بصورة عامة، نفس مقاومة التاكل للنحاس. الا ان خواصها الميكانيكية اعلى وقابليتها على اللحام افضل. وقد ظهرت هذه السبائك كبديل عن البراض لمقاومتها الافضل لتشققات التاكل الاجهادي. وتعتبر سبيكة برونز الفسفور شديدة التاثر (الميل) للهشاشية (Embrittlement) بالبخار عالي الضغط ولذا يجب اختبارها في الوسط المطلوب قبل إستخدامها ضمن مدى درجات الحرارة المعينة.

ح- سبيكة برونز الالمنيوم:-

تمتلك هذه السبيكة والتي تحتوي على (5-12%) الالمنيوم مقاومة ممتازة لتاكل التعرية وللأكسدة عند درجات الحرارة العالية. وتستخدم هذه السبيكة في بعض القضبان والشفرات في مكائن تشغيل الخشب وذلك لكونها مناسبة لتحمل الاحتكاك و التاكل بالمحاليل الكبريتيدية.

تعزى مقاومة التاكل في سبيكة برونز الالمنيوم الى وجود معدن الالمنيوم وحتى بلوغ نسبة الالمنيوم 8% فان بنية السبيكة الدقيقة تكون احادية الطور (α-phase) وعندئذ تبدي مقاومة جيدة للتاكل. ومن جملة مجموعة هذه السبائك هي المحتوية على 5%Al و 8%Al و (0.3%Sn2.7%Fe7%Al) و (2%Fe7%AL) والمتبقي فيها هو النحاس. وكلما زادت نسبة الالمنيوم اكثر من 8% فان البنية المجهرية تكون ذات طورين (α، β) حيث يكون طور بيتا (β) اقل مقاومة للتاكل من الطور الفا (α)، كما ان البنية

اليوتكتويدية (Eutectoid Structure) اكثر عرضة للتآكل. تتكون البنية اليوتكتويدية عند التبريد البطيء او عند تسخين السبيكة المخمدة (المبردة بسرعة) ببطيء الى ( 565 °C ) فيتحلل الطور  $\beta$  الى ( $\alpha + \gamma_2$ ) لتكوين بنية يوتكتويدية.

ان طور بيتا والبنية الاساسية في سبيكة برونز الالمنيوم يمكن ان تتآكل بطريقة مشابهة لعملية انتزاع الخارصين في البراص اعتمادا على حالة الوسط ونوعه. يمكن استخدام معاملات حرارية ملائمة للسبائك المزدوجة الطور كما في ( $86 \text{ Cu}11\text{Al } 3\text{Fe}$ ) و ( $85 \text{ Cu}11\text{Al } 4\text{Fe}$ ) للحصول على بنية تحتوي على طور بيتا اللين نسبيا مع بلورات الطور الفا الابرية وهذه البنية تمتلك مقاومة تآكل افضل من السبيكة الملدنة.

تعتبر سبيكة برونز الالمنيوم من السبائك المعقدة البنية عند الطور كما ( $\gamma$ ) حيث قد تحتوي على عناصر سبيكية اخرى كالحديد والنيكل والمنغنيز و احيانا السليكون. وعندئذ تتحول الية التآكل الى الية انتزاع بعض المكونات وتآكل التعرية في اغلب السوائل. تعتبر هذه السبيكة بصورة عامة ملائمة للاستخدام في الحوامض غير المؤكسدة كحامض الفسفوريك والهيدروكلوريك والحوامض العضوية وكذلك في المحاليل الملحية المعتدلة الملوحة ككلوريد البوتاسيوم والصوديوم والقلويات (Alkalines) كهيدروكسيد الصوديوم وهيدروكسيد البوتاسيوم و المياه الطبيعية. اما الاوساط التي لاتستخدم فيها هذه السبيكة فهي حامض النتريك وبعض الاملاح المعدنية ككلوريد الحديد وحامض الكروميك والامونيا الرطبة والتي تسبب تآكل التشقق الانفي عند تعرض السبيكة لاجهادات شديدة.

### 10-2-3 طلاء الحماية (الوقاية) protection coating

يقاوم النحاس التآكل في معظم الاوساط بسبب التفاعل عند بداية التعرض مع واحد او اكثر من محتويات الوسط والذي يكون طبقة خاملة مانعة للتفاعل الاضافي مع الوسط. تزداد مقاومة النحاس، في بعض التطبيقات، عند اجراء الحماية بالطلاء العضوي او المعدني حيث يمنح معدن الطلاء، على سبيل المثال، مقاومة اعلى للتآكل. وتعتمد

زيادة عمر الاستخدام على مدى تماسك طبقة الطلاء مع المعدن الاساس وتماमितها (Soundness).

ان لقيمة الجهد الكهربائي اثناء عملية الطلاء المعدني اهمية كبيرة على خواص طبقة الطلاء. وتستخدم بصورة عامة سبيكة لحام الكاوية (Soldering alloy) والقصدير والرصاص كمعادن طلاء بوساطة عملية الطلاء الكهربائي او بطريقة الغطس الحار (Hot dipping). ويعطي طلاء النحاس بالقصدير مقاومة تاكل عالية في المحاليل الكبريتيدية وخاصة في طلاء الاسلاك النحاسية والقابلوات (Cables) المعزولة بالمطاط الذي يحتوي على الكبريت. اما الطلاء بالرصاص فيستخدم بصورة عامة في عملية التسقيف بالنحاس والتي هي على تماس عادة مع غازات المداخن او المنتجات الاخرى التي تحتوي على نسبة ولو قليلة من حامض الكبريتيك. ويستخدم الطلاء بالقصدير او الرصاص للحماية الاضافية للنحاس المعرض للجو الاعتيادي.

وكذلك يستخدم الطلاء الكهربائي للنحاس بالكروم لغايات عدة كالتزيين والديكور وتحسين مقاومته للبلي (Wear Resistance) الا ان هذا الطلاء غير فعال للحماية من التاكل بسبب مساميته النسبية. الا انه يستخدم في العادة الطلاء بالنيكل او لا كطبقة حماية تحت طبقة طلاء الكروم.

يستخدم في بعض الاحيان محلول الشيلاك ( أي الطلاء بـالك ) الجيد لتكوين طبقة رقيقة شفافة للمحافظة على لون السبيكة الطبيعي لاغراض الديكور والعمارة.

## **الفصل الحادي عشر**

### **وصل النحاس وسبائكة**

Joining of Copper and Its Alloys





## الفصل الحادي عشر

### وصل النحاس وسبائكه

#### Joining of Copper and Its Alloys

##### المقدمة:

يملك النحاس وسبائكه مجموعة من الخواص الفريدة من نوعها. ومن بين تلك الخواص الأكثر أهمية هي التوصيلية الكهربائية والحرارية والمقاومة (Strength) ومقاومة التآكل. أما الخواص المفيدة الأخرى فهي مقاومة الشرارة (Spark resistance) ومقاومة البلي (wear resistance) وصفته اللامغناطيسية أو خواص السماحية (المنفذية) المغناطيسية الواطئة (Low-Permeability Properties) ولونه الجذاب.

يُوصَل النحاس خلال عمليات التصنيع عادة باللحام (welding) وتقنية لحام القوس الكهربائي هي الأكثر أهمية من بين عمليات اللحام المستخدمة. يمكن أن ينجز لحام القوس الكهربائي بتقنية لحام قوس المعدن المغلف (Shielded Metal Arc Welding) (SMAW) ولحام قوس التنكستن الغازي (Gas Tungsten Arc Welding) (GTAW) ومن ضمنها تقنية التيار النبضي ولحام القوس المعدني (Gas Metal Arc Welding) (GMAW) ومن ضمنها تقنيتي التيار النبضي والسلك الدقيق (Fine wire mode) ولحام قوس البلازما (Plasma Arc Welding) (PAW) ولحام القوس المغمور (Submerged Arc Welding) (SAW). والعوامل الحاكمة (المسيطرة) لكل هذه العمليات في جودة اللحام هي التوصيلية الحرارية ونوع السبيكة بالنسبة لمدى التصلب (Solidification range) ودرجة انصهار مكوناتها.

يمكن تصنيف النحاس بصورة تقريبية الى مجموعتين هما:

- 1- النحاس الحاوي على الاوكسجين.
- 2- النحاس الخالي من الاوكسجين او منتزع الاوكسجين

ان عملية الوصل الانصهاري للنحاس الحاوي على اوكسجين صعبة، حيث تتركز الاطوار اليوتكتيكية، المتكونة من النحاس واوكسيده، عند الحدود البلورية لتخفض بذلك الخواص الميكانيكية ومقاومة التاكل بصورة واضحة. يتناسب مدى التدهور في الخواص بصورة مباشرة مع الحرارة الداخلة للعملية المستخدمة. فعلى سبيل المثال، فان عملية لحام الاوكسي استيلين ذات حرارة داخلية عالية في العادة تنتج هشاشة شديدة. في حين تختزل عمليات القوس المغلف بالغاز الخامل الحرارة في منطقة (حوض) اللحام ومن ثم تقلل الهشاشة.

فعندما تتطلب التطبيقات خواص ميكانيكية ومقاومة تاكل جيدة فيجب عندئذ اختيار صفائح نحاس خالي من الاوكسجين او منتزع الاوكسجين (Deoxidized) ومن ثم تلحم بوساطة عملية القوس الكهربائي.

### 11- 1 اختيار عملية اللحام:

يجب ان يتم اختيار عملية اللحام لتفي بمتطلبات التطبيق المحدد وفق الاسس الآتية:

- 1- الشكل الهندسي لوصلة اللحام.
- 2- عدد وصلات اللحام المراد عملها. فيجب ان يراعى نوع المنتج المكرر تصنيعه والادوات والمثبتات كجزء من العملية وكذلك الشكل الهندسي للوصلة، وفيما اذا كانت تتضمن عملية انصهار فعندئذ تحبذ عملية التغليف (الاحاطة) بالغاز الخامل. اما عندما تكون خواص وصلة اللحام ليست حرجة (ضيقة) فيكون اللحام بالاوكسي استيلين ملائما تماما وخاصة بالنسبة للمقاطع الخفيفة.
- 3- سماكة (سمك) المقاطع المراد لحامها. فيستخدم بصورة عامة لحام الاوكسي اسيتيلين (Oxyacetylene) او قوس التنكستن الغازي (Gas-Tungsten-Arc) عندما يكون السمك  $1/4\text{in}$  (6.25mm) او اقل من ذلك. اما للسماكات الكبيرة فيستخدم لحام قوس المعدن الغازي (Gas-Metal-Arc-Welding).

4- المكان او الوضعية. فاذا امكن وضع القطعة بكيفية بحيث تكون اليد عند اللحام الى الاسفل فعندها يفضل استخدام عملية القوس المغلف بالغاز مع ما يناسب ذلك من مثبتات (Fixtures). اما اذا كان وضع الوصلة المراد لحامها فوق الرأس (Overhead Position) فيفضل عندئذ لحام قوس التنكستن الغازي (GTAW) وفي السنين المتأخرة لوحظ ان لحام قوس التنكستن الغازي بمجهز طاقة (قدرة) نبضي (Pulsed-Power Supply) قد اعطى نتائج جيدة في حالة الوضع العمودي ولكن من الصعوبة تكوين عقد لحام (Weld Beads) جيدة عند الوضع فوق الرأس.

## 11- 2 التثبيت Fixation:-

تكون مشكلة التشويه الحراري في النحاس اكبر مما هي عليه في الفولاذ (Steel) لان معامل التمدد الحراري للنحاس محدود 1.5 ضعف اكبر مما في الفولاذ. فعند المقارنة في لحام الدرز (المستمر) (Seam Welding) القصير لمقطع خفيف فيجب ان تكون مثبتات نوع الملزمة (Clamping-Type) ملائمة لذلك. اما عند لحام الدرز للمقاطع السميكة نسبيا (كما في حالة لحام الدرز الطويل للاوعية الكبيرة) فيجب اخذ الاحتياطات لمنع التشوه المفرط.

وهناك وسيلة اخرى للمحافظة على الإستقامة وفواصل الجذر (Root gaps) وهي الملزمات الاسنينية والتي تستخدم بصورة عامة في المراحل البخارية. تزال الملزمات واحدة بعد الاخرى بتقديم اللحام. اما التقنية الاخرى فهي الابتداء باللحام عند 1/4 أو 1/3 من الانج من احد النهايات ثم اللحام حتى النهاية البعيدة ومن ثم لحام الجزء المتبقي وابتداءا من نفس النقطة. وفي حالة اللحام المتكرر التمريرات (Multi-Pass Joint) فيجب ان تكون تمريرة الجذر (Root Pass) كبيرة وتامة. لأن تمريرة الجذر الخفيفة قد تنكسر خاصة في حالة لحام النحاس الحاوي على الاوكسجين.

## طرائق الاسناد الخلفي (الظهارة) Backing Methods:-

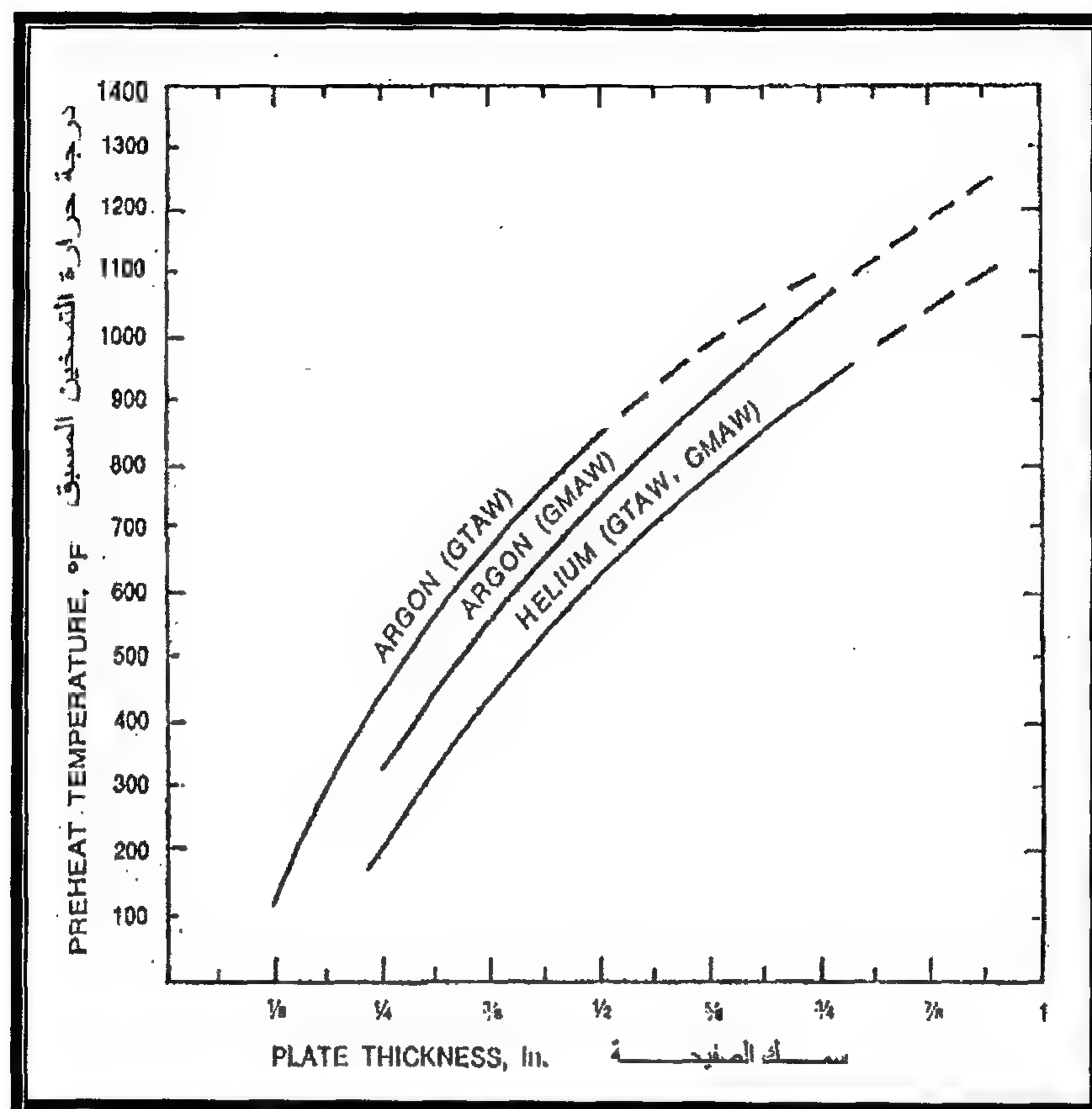
تكون معظم قضبان الظهارة، الممكن ازالته، من النحاس او الكربون والمحفورة كما ينبغي. ويمكن ايضا استخدام الفولاذ المطيل (Mild Steel) او الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) اذا وُجد حاجز ملائم عند انصهار النحاس كطبقة من الاسيست او طلاء سيراميكي.

وعندما لا يكون هناك مجال للوصول الى خلف منطقة الوصل بعد عملية اللحام فقد تستخدم في بعض الاحيان قضبان ظهارة متكاملة لضمان تغلغل جذري كامل. واذا لم يمكن السماح بذلك فيستخدم في العادة لحام قوس التنكستن الغازي (GTAW) لتمريرة لحام الجذر، باستخدام تقنية ثقب المفتاح (Key Hole). وهذا يتطلب فجوة جذر مقدارها حوالي 1/4 in ومهارة معتد بها من قبل الشخص اللاحم. ويجب ان يحافظ اللاحم على فتحة بين حافتي الجذر المتاخمة عابرا الفجوة خلف الفتحة بقضيب الحشو حيث يتم عندئذ ضمان التغلغل الكامل.

لا يفضل اكثر المصنعين استخدام قضيب الظهارة عندما يمكن تجنبه. وكثيرا ما تستخدم تقنية وضع الوصلة بصورة عمودية ويتم اللحام بصورة آنية من الجهتين ومن قبل لحامين اثنين.

### 11- 3 التسخين المسبق Preheating:-

يؤمن، دائما، المصنعون الذين ليس لديهم خبرة في لحام النحاس مقدار التسخين المسبق بأقل مما ينبغي لغرض الانصهار الكامل والتغلغل الجيد خصوصا في وصل المقاطع الثقيلة، لاحظ الشكل (11-1) كدليل عملي لذلك.



الشكل (1-11)

درجة حرارة التسخين المسبق الملائمة لسماكات مختلفة عند استخدام تقنية قوس الغاز الخامل في لحام النحاس.



يجب اخذ الحيلة لتسخين منطقة اللحام بصورة منتظمة والحفاظ على درجة الحرارة حتى تكتمل عملية اللحام. يجب تخفيض تسرب الحرارة الى الحد الأدنى مع امكان استخدام أغلفة عوازل اسبستية اضافة الى بطانة اسبستية على المثبتات ايضا. ان التيارات المفرطة في الارتفاع لاتعوض التسخين المسبق الملائم. وبدلا عن ذلك تؤدي الى حدوث اخاديد وسطح عقدي رديء وعادة ما يعطل التغليف الغازي مما يؤدي الى مسامية واكتنافات (Inclusions) أو كسيدة.

#### 11- 4 المواد الصهورة (المساعدة على الانصهار) Fluxes :-

تضاف هذه المواد بالدرجة الاساس في حالة اللحام بالاكسي استيلين وذلك لتقليل الميل لتكوين الاكتنافات الاوكسيدية الغريبة. وهي في العادة متكونة من خليط من البوريدات والكلوريدات والفلوريدات... الخ وهي ذات تاثير مختلف. وتضاف بشكل معجون على منطقة الوصل قبل البدء بعملية اللحام وبينما يتواصل اللحام تتم الاضافات بصورة دورية وذلك بغمس نهاية قضيب معدن الحشو في المادة الصهورة. تكون المواد الصهورة شديدة التاكل للمعدن ولذلك فمن الضروري ازالة جميع ما يتبقى منها على منطقة اللحام بعد اكمال العملية وبصورة جيدة. وتستخدم المواد الصهورة في بعض الاحيان للاستفادة منها في لحام القوس المعدني الغازي (GMAW) عندما يكون التسخين المسبق غير ملائم لسبب او اخر. تجري عملية اللحام التناكبي التام (الخالية من العيوب) ذات التمريرات المتعددة (Multi-pass) للنحاس المتزع الاوكسجين سمك (2 in) عند تسخين مسبق في درجات حرارة اقل من 1000 °F (540 °C) وبرش المادة الصهورة الجافة وفي منطقة الوصل امام (قدّام) القوس الكهربائي المتكون. وفي حالة عدم استخدام الصهور فسوف لا يتم انصهار بعض المناطق انصهارا كاملا.

يتضمن الجدول (1-11) معظم انواع النحاس وسبائكه والتي تلحم غالبا بتقنية القوس الكهربائي. كما يعطي الجدول ايضا رقم السبيكة باستخدام نظام الترقيم

الموحد (Unified Numbering System) (UNS) والتكوين الكيميائي العام ودرجة انصهارها والتوصيلية الحرارية النسبية وقابليتها النسبية على اللحام عند استخدام إحدى التقنيات الآتية SMAW أو GMAW أو GTAW.

إن تقنية لحام قوس التنكستن الغازي هي الأكثر استخداماً من جميع طرائق لحام القوس الأخرى لوصل النحاس وسبائكه. وتتميز بشدة الحرارة الموضعية الداخلة والتي تلزم بصورة خاصة للسبائك ذات التوصيلية الحرارية العالية وكذلك إمكانية السيطرة الجيدة إضافة إلى سهولة أتمتها (Automation). أما الطريقة المباشرة لها أي لحام قوس البلازما (Plasma Arc Welding) (PAW) فتستخدم عندما يكون عمر الطرف أو النهاية المستدقة من قطب اللحام شيء مطلوب، كما في حالة العمليات المؤتمتة. ويمكن لحام المقاطع إلى حد (1/2 in) بطريقة (GTAW) إلا أن معدل السمك بصورة عامة هو (1/8 in). وعند لحام مقاطع خفيفة، حيث تكون الحرارة الداخلة أمر حرج، فقد يمكن استخدام أسلوب التيار النبضي. أما المقاطع الأكبر من (1/2 in) فإن الطريقة المفضلة هي (GMAW) حيث تمتاز بالحرارة الداخلة ومعدل ترسيب لحام عاليين. أما عند الاستخدام في الأماكن الخارجية فيفضل استخدام لحام قوس المعدن الغازي النبضي.

جدول (1-11): التكوين الكيميائي العام ودرجة حرارة الانصهار والتوصيلية الحرارية النسبية وقابلية اللحام للنحاس وسبائكه المشكلة (Wrought) والتي تلحم بصورة عامة بالقوس الكهربائي.

رقم السبيكة حسب UNS واسمها			التكوين الكيميائي العام	درجة الانصهار (°F)	التوصيلية الحرارية النسبية (a)	اللحامية (b)
						SMAW GMAW GTAW
(OFC) النحاس الخالي من الاوكسجين و (ETP) النحاس المنقى الالكتروليتيًا المتين						
C10200	نحاس خالي من الاوكسجين (OFC)	99.95Cu	1981	100	G	NR
C11000	نحاس نقي الكتروليتي (ETP) النحاس منتزع الاوكسجين	99.90Cu ، 0.04O <sub>2</sub>	1981	100	F	NR
C12000	نحاس واطيء الفسفور منتزع الاوكسجين	99.9Cu ، 0.008P	1981	99	E	NR
C12000	نحاس عالي الفسفور منتزع الاوكسجين	99.9Cu ، 0.02P	1981	87	E	NR
نحاسيات البريليوم						
C17500	نحاس - بريليوم عالي التوصيلية	96.9Cu ، 0.6Be ، 2.5Co	1955	53-66°C	F	F
C17000	نحاس - بريليوم عالي المقاومة	98.3Cu ، 1.7Be	1800	27-33°C	G	G
C17200	نحاس - بريليوم عالي المقاومة	98.1Cu ، 1.9Be	1800	27-33°C	G	G

براس منخفض الخارصين						
NR	G	G	60	1950	95Cu , 5Zn	C21000 الذهبى 95%
NR	G	G	48	1910	90Cu , 10Zn	C22000 البرونز التجارى 90%
NR	G	G	41	1880	85Cu , 15Zn	C23000 البراس الاحمر 85%
NR	G	G	36	1830	80Cu , 20Zn	C24000 البراس المنخفض 80%
براس عالي الخارصين						
NR	F	F	31	1750	70Cu-30Zn	C26000 براس الغراطيش 70%
NR	F	F	30	1710	65Cu-35Zn	C26800 البراس الاصفر 66%
NR	F	F	31	1660	60Cu-40Zn	C28000 معدن مونتز 60%
براس القصدير						
NR	F	F	28	1720	71Cu , 28Zn , 1Sn(d)	C44300 البراس الاميري
NR	F	F	30	1650	60Cu , 39.25Zn , 0.75Sn(d)	C46400 البراس البحري
البراس الخاص						
NR	F	F	27	1630	58.5Cu , 39Zn , 1.4Fe , 1Sn , 0.1Mn	C67500 برونز المنغنيز A
NR	F	F	26	1780	77.5Cu , 20.5Zn , 2Al(0.06As)	C68700 براس الالنيوم الزرنيخي
فضيات النيكل						
NR	F	F	12	1870	65Cu , 25Zn , 10Ni	C74500 فضيات النيكل 65-10
NR	F	F	8	2030	65Cu , 17Zn , 18Ni	C75200 فضيات النيكل 65-18
NR	F	F	9	1970	65Cu , 20Zn , 15Ni	C75400 فضيات النيكل 65-15
NR	F	F	10	1900	65Cu , 23Zn , 12Ni	C75700 فضيات النيكل 65-12
NR	F	F	8	1930	55Cu , 27Zn , 18Ni	C77000 فضيات النيكل 55-18
برونزيات الفسفور						



F	G	G	53	1970	98.7Cu, 1.3Sn(0.2P)	C50500 برونز الفسفور E 25% 1
F	G	G	18	1920	95Cu, 5Sn(0.2P)	C51000 برونز الفسفور A 5%
F	G	G	16	1880	92Cu, 8Sn(0.2p)	C52100 برونز الفسفور C 8%
F	G	G	13	1830	90Cu, 10Sn(0.2P)	C52400 برونز الفسفور D 10%
برونزيات الالنيوم						
G	E	G	14	1915	89Cu, 7Al, 3.5Fe(0.35Sn)	C61300 برونز الالنيوم —وم (Sn مثبت) D
G	E	G	17	1915	91Cu, 6-8Al, 1.5-3.5Fe, 1max.Mn	C61400 برونز الالنيوم D
G	G	G	10	1930	82Cu, 10Al, 5Ni, 3Fe	C63000 برونز الالنيوم E
برونزيات السليكون						
F	E	E	15	1940	98.5Cu, 1.5Si	C65100 برونز واطي والسليكون B
F	E	E	9	1880	97Cu, 3Si	C65500 برونز عالي السليكون A
سبائك النحاس نيكل						
G	E	E	12	2100	88.6Cu, 9.11Ni, 1.4Fe, 1.0Mn	C70600 نحاس نيكل 10%
E	E	E	8	2260	70Cu, 30Ni	C71500 نحاس نيكل 30%

(A) اعتمادا على التوصيلية الحرارية للسبيكة C10200 (226Btu/ft<sup>2</sup> بالقدم لكل ساعة عند 68°F) وتعتبره 100%. وعند المقارنة مع الفولاذ الكربوني الذي له 30Btu/ft<sup>2</sup> بالقدم لكل ساعة عند 68°F والتي تكون 30 في هذا المقياس.

(b) E = ممتاز (excellent), G = جيد (good), F = مقبول (fair), NR = لا يوصى بها (Not Recommended), © في حالة مصلدة بالترسيب

(d) السبيكة C44300 و C46500 تحتويان على حوالي 0.06% As أما السبائك C44400 و C46600 فتحتويان على حوالي 0.06% Sb والسبيكتين C44500 و C46700 فتحتويان على حوالي 0.06% P.



لا زالت تقنية لحام المعدن المغلف، والتي تعتبر من اقدم عمليات لحام القوس، تستخدم وبصورة واسعة بسبب بساطتها، وتعدد خواصها وقابلية الوصول الى مناطق الوصل التي يصعب الوصول اليها في غيرها وامكانية حركة المعدات وتوفير سبيكة القطب (قضيبي اللحام). لكن كلفة العمل بصورة عامة اعلى من تقنية لحام قوس المعدن الغازي (GMAW) حيث تكون السرعة في الأخيرة أعلى بمعدل أربعة أضعاف. و تفضل تقنية (GMAW) عند لحام النحاس عالي التوصيلية حتى عند استخدام التسخين المسبق (Preheating).

وسيتم لاحقاً مناقشة المحدوديات والاحترازاات (الاحتياطات) الضرورية لكل عملية في هذا الفصل. وبسبب انخفاض مقاومة وصلة اللحام وتكون الأكاسيد وتبخر بعض العناصر التي تصاحب لحام القوس عادة يتم لذلك اختيار لحام المونة (التبريص) (Brazing) غالباً في وصل سبائك النحاس.

## 11- 5 تأثير عناصر السبك على نوعية اللحام:-

لبعض عناصر السبك تأثير واضح على سلوك النحاس وسبائكه عند اللحام. فكميات قليلة من عناصر السبك السامة والمتطايرة تتواجد عادة في النحاس وسبائكه وبناءً على ذلك فاستخدام نظام تهوية فعال لحماية اللحامين (Welders) ومشغلي مكائن اللحام وسحب الغبار والدخان المتصاعد والضباب امر هام جداً واكثر الحاحاً وحاجة مما هو عليه في لحام المعادن الحديدية.

### أ- مضافات تحسين التشغيل (منعقات الرايش او النحاة):

تضاف احياناً بعض العناصر ذات درجات الانصهار الواطئة مثل الرصاص (Pb) والتيلوريوم (Te) والكبريت (S) الى سبائك النحاس لتحسين قابليتها على التشغيل، كما تم ذكره سابقاً، وهذه الاضافات تجعل السبائك عرضة للتشقق الحار (Hot cracking) خلال عملية اللحام. ويبدأ التأثير السلبي على اللحامية (القابلية على اللحام) بصورة واضحة عند حوالي 0.05wt % من المضاف ويكون التأثير اشد عند

المقادير الاكبر من الاضافة. للرصاص التأثير الاكثر ضررا من بين عناصر السبك بالنسبة للحامية السبائك ذات الاساس النحاسي. ان سبائك النحاس ممتازة التشغيل (التي تحتوي عادة من 0.5 الى 4%wt من الرصاص) لا تلحم عادة وهي ليست مدرجة في الجدول (1-11).

يخفف الخارصين (Zn) من لحامية كل انواع البراص (النحاس الاصفر) وكذلك فضيات النيكل (وهي سبائك براص مضافا اليها نسبة معينة من النيكل) وحسب نسبة تواجد الخارصين فيها الى حد ما. تنبعث ابخرة سامة عند لحام سبائك النحاس-خارصين. ولذلك يصبح من الضروري استخدام اجهزة تهوية (Ventilation) ذات قدرة عالية وكفاءة اضافة الى نظام تكثيف واستعادة الدخان المتصاعد.

يزيد القصدير من امكانية تعرض السبيكة للتشقق الحار خلال عملية اللحام بحوالي 1 الى 10% كما في حالة برونزيات الفسفور والبراص القصديري ومن ثم تنخفض للحامية (القابلية على اللحام). وبالمقارنة مع الخارصين، فان القصدير اقل تطايرا واقل سمية بكثير. ويتأكسد القصدير تفضيلا (اكثر من النحاس) خلال اللحام ومن ثم يمكن ان تنخفض مقاومة الملحومة بسبب انحصار الاوكسيد داخل منطقة اللحام. ويعتبر اوكسيد القصدير من المواد الصهورة السهلة.

اما البريليوم (Be) والالمنيوم والنيكل فتكون اوكاسيد شديدة الالتصاق مع سطح البراص ويجب ازالتها بالتنظيف قبل عملية اللحام. ويجب منع تكون الاكاسيد على سبائك النحاس المسخنة بواسطة التغليف الغازي او بالمواد الصهورة مع ملاحظة اختيار نوع تيار اللحام المناسب. ان مقدار تداخل اوكاسيد النيكل مع لحام القوس اقل من تداخل اوكاسيد البريليوم او الالمنيوم. لذلك تكون فضيات النيكل وسبائك النحاس - نيكل اقل حساسية لنوعية تيار اللحام المستخدم.

يمكن ان يسبب الاوكسجين كغاز او الموجود في اوكسيد النحاس مسامية تؤدي الى تخفيض مقاومة السبائك الملحومة التي لا تحتوي على فسفور او اي مختزل (متزاع او مزيل للاوكسجين) اخري كمية كافية. تحتوي اغلب سبائك النحاس القابلة للحام على

عناصر مختزلة (عادة الفسفور والسليكون أو الألمنيوم أو الحديد أو المنغنيز) والتي تتحد مع الأوكسجين. تتضمن معادن الحشو (Filler Metals) عادة منتزعات الأوكسجين نفسها. تعتمد تمامية (Soundness) ومقاومة ملحومات القوس للنحاس التجاري النقاوة على مقدار ما تحتويه من أوكسيد النحاس. فتزداد التمامية بانخفاض محتوى الأكاسيد. يتم الحصول على أحسن النتائج في حالة النحاسيات المختزلة (المزالة الأوكسجين) لأنها خالية من أوكسيد النحاس وتتضمن بقايا الفسفور. وسيتم التطرق إلى تأثير أوكسيد النحاس فيما بعد.

للسليكون تأثير إيجابي على لحامية سبائك النحاس - سليكون وذلك لدوره في إزالة الأوكسجين أولاً وكفاءة صهورة ثانياً إضافة إلى تأثيره في خفض التوصيلية الحرارية، كل ذلك جعل برونزيات السليكون هي الأكثر لحامية من بين سبائك النحاس الأخرى في عمليات لحام القوس.

أما الفسفور فلا يؤثر بصورة سلبية على اللحامية عند تواجده بالكميات الاعتيادية في سبائك النحاس. فهو مفيد لبعض أنواع النحاس وسبائكه في رفع قيمة المقاومة وكعامل مختزل (منتزع للأوكسجين). وعند إضافة الفسفور للبراص فإنه يعيق عملية انتزاع الخارصين (Dezincification) منه.

أما وجود الكاديوم في النحاس (وحتى 1.25%) فلا ينتج عنه أية مشكلة فعلية خلال عملية لحام القوس. إلا أنه يتبخر من النحاس بسهولة نسبية عند درجة حرارة اللحام ولذلك يسبب خطراً شديداً على الصحة. وقد تتولد كميات قليلة من أوكسيد الكاديوم في معدن منطقة اللحام المنصهر إلا أنه يُزال بسهولة مع المواد الصهورة.

يتشابه الكروم مع البريليوم والألمنيوم في تكوين أكاسيد مقاومة للحرارة على سطح المعدن المنصهر في منطقة اللحام. لذلك يجب أن يستخدم جو واقٍ فوق حوض (الجزء السائل من المعدن) منطقة اللحام عند اللحام بالقوس الكهربائي.

أما بالنسبة إلى الحديد والمنغنيز، فالحديد الذي يتواجد في بعض الأنواع الخاصة من البراص و برونزيات الألمنيوم والنحاس - نيكل وبكميات تتراوح بين 1.4 إلى 3.5% فلا

يؤثر بصورة واضحة على لحامية هذه السبائك. وليس للمغنيز الذي يتواجد في بعض هذه السبائك وفي تراكيزاقل من الحديد، تأثير ملحوظ على اللحام.

## 11- 6 العوامل المؤثرة في اللحامية:-

إذا استثنينا تأثير العناصر التي تتضمنها السبيكة المحددة، فإن العوامل الأساسية التي تؤثر في اللحامية هي:

أ- التوصيلية الحرارية للسبيكة المراد لحامها وغاز التغليف

ب- غاز التغليف

ج- نوع تيار اللحام

د- تصميم وصلة اللحام

هـ- مكان (منطقة) اللحام

و- ظروف السطح (التنظيف)

وستتم مناقشة تأثير نوع التيار في فقرات لاحقة وفي العمليات والسبائك المختلفة.

## 11- 6- 1 تأثير التوصيلية الحرارية:-

يتأثر سلوك النحاس وسبائكه بصورة شديدة بالتوصيلية الحرارية والتي تتغير بشكل كبير في هذه السبائك. يبين الجدول (1-11) مقدار التوصيلية الحرارية النسبية التي تعتمد على التوصيلية الحرارية للسبيكة (C10200) (وهو النحاس الخالي من الاوكسجين) والتي تساوي  $392 \text{ W/m.k}$  ( $226 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$ ) عند  $68^\circ\text{F}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) والتي اعتبرت 100%.

اما المدى المبين في الجدول (1-11) فهو من 100 للسبائك C10200 و C11000 الى القيم القليلة 8 الى 12 لسبائك فضيات النيكل والنحاس نيكل و 9 للسبيكة C65500 (برونز السليكون العالي A). وإذا اريدت المقارنة بالتوصيلية للفولاذ الكربوني فهي تساوي  $30 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$  عند  $68^\circ\text{F}$  وعلى المقياس المذكور تساوي 13.



وعند لحام النحاس التجاري وسبائك النحاس المنخفضة التسييك والتي لها توصيلية حرارية عالية فيجب اختيار نوع التيار وغاز التغليف الملائمين لاجل استغلال اعظم حرارة ممكن استخدامها لتلافي تبديد الحرارة السريع من منطقة اللحام. وحتى سبائك النحاس الاقل توصيلية تحتاج الى تسخين مسبق (Preheating) (وحسب سماكة المقطع) بالرغم من الحرارة المركزة الداخلة وفي كل عمليات لحام القوس. ويجب ان تكون درجة حرارة التمريرة الوسطية (Inter Pass) مساوية لتلك التي تكون عند التسخين السابق للحام. ان سبائك النحاس لا تعامل حراريا بعد اللحام (Post weld heat treatment) كما هي الحالة الاعتيادية في سبائك الفولاذ، لكنها ربما تحتاج الى تبريد مسيطر عليه لتقليل الاجهادات المتخلفة والمهشاشة عند درجات الحرارة العالية (Hot Shortness).

#### 11-6-2 غازات التغليف (الحماية) Shielding Gases:-

يستخدم غاز الاركون كغاز تغليف في عمليات لحام القوس وقد يستخدم ايضا الاركون مع 25 الى 75 % من الهيليوم. ومن المفيد تطوير طرائق لحام متوافقة مع استخدام الاركون او مخاليط ذات نسبة اركون عالية. وينتج غاز الاركون او مخاليط الاركون-هيليوم مناطق لحام اكثر انتظاما مما ينتجه الهيليوم لوحده في سبائك النحاس، ويعطي استقرار قوس اكبر ويؤدي الى تطاير لحام اقل.


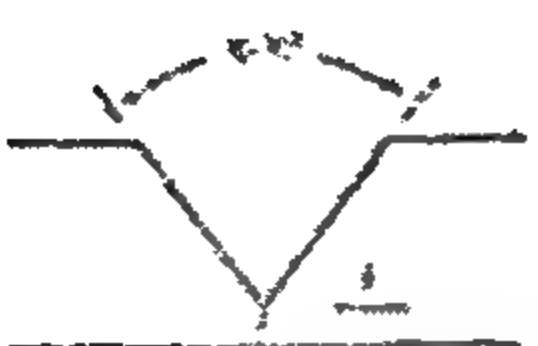
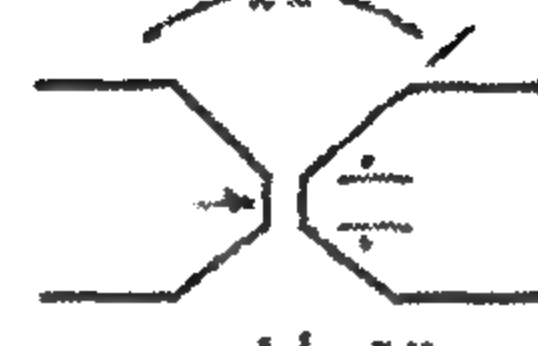
يفضل الهيليوم لوحده او مخلوطا مع الاركون عندما يراد حرارة داخلية كبيرة كما هي الحالة في لحام النحاس عالي التوصيلية او سبائكه وكذلك برونزيات الألمنيوم. حيث يعطي غاز الهيليوم حرارة داخلية اكبر بمقدار الثلث مما في حالة غاز الاركون عند تيار لحام متساو.

#### 11-6-3 تصميم وصلة اللحام Joint Design:-

لا يختلف كثيرا تصميم وصلات اللحام للنحاس وسبائكه عن تصميم الوصلات المستخدمة في لحام القوس في الفولاذ. فمقاطع ذات سمك يصل الى 1/8 in يمكن ان توصل باستخدام لحام الاخدود المربع ومن دون فتحات جذر (Root Openings). اما



المقاطع الأكثر سماكة فتوصل عادة اما باستخدام لحام حز (أخدود) بشكل حرف (V) منفرد او بشكل حرف (V) مزدوج (أحدهما من جهة السطح العلوي والاخر من السفلي) مع اوجه اوسطوح جذر لا تزيد على  $1/8$  in عرضا، الشكل (11-2).

		
أخدود مربع	أخدود منفرد بشكل الحرف V	أخدودان مزدوجان بشكل حرف V أحدهما من السطح العلوي والاخر من السفلي.

شكل (11-2)

أنواع الأخاديد المستخدمة في لحام الصفائح ذات السماكات المختلفة.

يجب ان يُخَفَّض تصميم وصلة اللحام والتثبيت من اجهادات التقلص اضافة الى عمل سماحات لمعامل التمدد الحراري العالي للنحاس وسبائكه لمنع حدوث التشقق، والذي قد يحدث نتيجة لهشاشة المعدن الاساس عند درجات حرارة قريبة او اعلى من خط الصلابة (Solidus).

تستخدم الاشرطة او الحلقات الساندة بصورة اوسع مما هو عليه في حالة الفولاذ وذلك لتجنب فقدان المعدن المنصهر، وخصوصا في حالة النحاس وسبائكه وبالاخص التي تكون مُسالة بمديات درجات حرارة عالية. تصنع الاشرطة والحلقات الساندة عادة من نفس السبيكة المراد لحامها او من النحاس او الكاربون او الكرافيت او شريط سيراميكي.

يوضح الجدول (11-2) انواع الملحومات والوصلات التي تستخدم في لحام القوس للنحاس وسبائكه. اما الابعاد وفتحات الجذر و زوايا الحز (الاخذود) المثالية للحام ولمختلف انواع السبائك فستعطى في جداول الظروف العامة للحام.

11 - 6 - 4 مكان اللحام Welding Position :-

تستخدم الاماكن المسطحة كلما امكن ذلك بسبب السيولة العالية للنحاس واغلب سبائكه. يستخدم الوضع الافقي في بعض لحام الزاوية للوصلات الركنية وتلك التي تكون على شكل حرف (T).

ان الاوضاع العمودية وفوق الراسية والافقية اقل استخداما في وصلات اللحام التناكبي (Butt Welding). وهي في العادة مقتصرة على (GTAW) و (GMAW) لبرونزيات الالمنيوم وبرونزيات السيلكون وسبائك النحاس- نيكل. يستخدم في اللحام خارج المكان (الموضع) (Out-of-Position) اقطاب صغيرة وسلك معدن حشو (Filler Metal) مع تيارات لحام منخفضة. ويمكن تحقيق ذلك باستخدام تيار نبضي للسيطرة على السيولة (Fluidity)، وذلك لانه يجمع بين معدل منخفض للحرارة الداخلة مع تحول (انتقال) رذاذي (Spray transfer).

وعند استخدام لحام قوس المعدن المغلف (SMAW) خارج موضع اللحام فهو في العادة مقتصر على وصل برونزيات الالمنيوم وسبائك النيكل- نحاس، ولكن يمكن ان يستخدم لبرونزيات الفسفور وبرونزيات السليكون ايضا.

11 - 6 - 5 السبائك القابلة للتصليد بالترسيب

(Precipitation-Hardenable Alloys)

ان اكثر تفاعلات التصليد بالترسيب اهمية تحصل في سبائك النحاس- بريليوم والنحاس كروم والنحاس بورون والنحاس- نيكل- سليكون والنحاس زركونيوم. لذلك يجب اخذ الحيلة عند لحام سبائك النحاس القابلة للتصليد لتجنب الاكسدة وعدم الانصهار التام. ويجب لحام الاجزاء عند ظروف التلدين التام كلما امكن ذلك ومن ثم تعامل الملحومات حراريا لانجاز التصليد بالترسيب.

## 11-6-6 التشقق الحار Hot cracking:-

تكون سبائك النحاس التي لها مدى واسع من درجات حرارة السيولة الى الصلابة (Liquidus -to- Solidus) مثل سبائك النحاس قصدير والنحاس - نيكل، عرضة للتشقق الحار عند درجات حرارة التصلب. يتجمد السائل الموجود بين الشجيرات ذو درجة الانصهار الواطئة عند درجة حرارة اوطأ من جرم الشجيرات نفسها. فتولّد اجهادات الانكماش (Shrinkage Stresses) فواصل بين الشجيرات خلال عملية التجمد. يمكن ان تقلّل ظاهرة التشقق الحار بتخفيض التقييد (Restraint) خلال عملية اللحام وبالتسخين المسبق لإبطاء معدل التبريد وتخفيض مقدار اجهادات اللحام وتقليل مقاس فتحة الجذر وزيادة مقاس تمريرة الجذر.

## الجدول (11-2):

الظروف (a) العامة للحام بتقنية قوس التنكستن الغازي للنحاس ذو النقاوة التجارية باستخدام اقطاب نوع EWTh-2 وقضيب لحام نوع ERCu و DCEN.

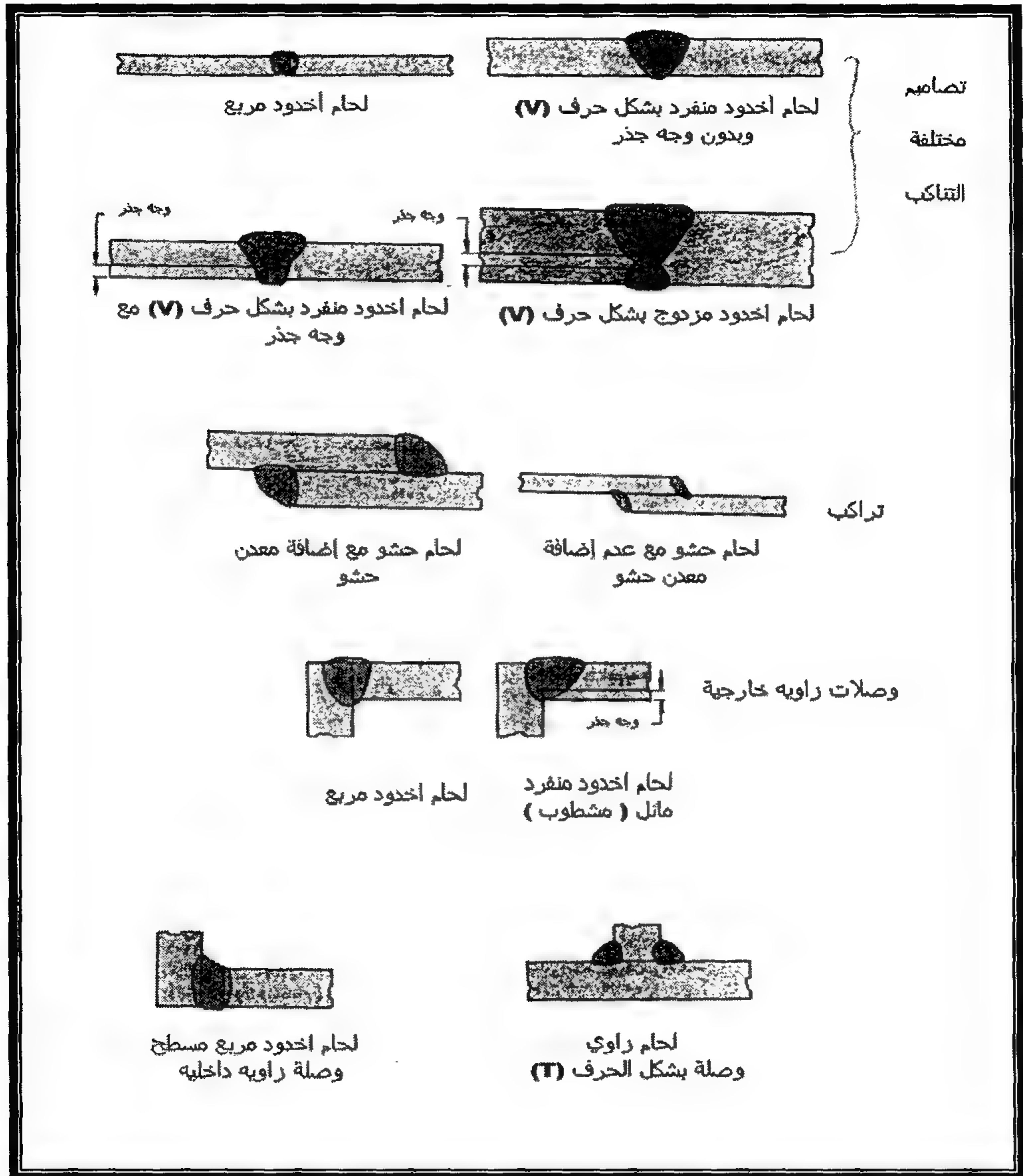
سمك المعدن المراد لحامه (انج x in)	فتحة/الهدر (انج x in)	قطر القضيب (انج x in)	قطر قضيب اللحام (انج x in)	غاز التغليف (c)	معدل جريان الغاز/lb ft <sup>3</sup>	التيار امبير (A)	سرعة اللحام انج/دقيقة in/min	عدد التعديلات	درجة حرارة التسخين المسبق °F °C
الوصلات التناكبية-حزم مربع									
1/16	0	1/16	لايستخدم	اركون	15	140-110	12	1	لايوجد
1/16	0	3/32	لايستخدم	اركون	15	225-175	11	1	لايوجد
1/16	1/8	3/32	3/32, 1/8	اركون	15	225-175	11	1	لايوجد
3/16	3/16	1/8	1/8	هليوم	30	225-190	10	1	200(93)
وصلات تناكبية- حزم منفرد بشكل 60° V، وجه جذر 1/16 انج									
1/4	1/16 كحد اقصى	1/8	1/8	هليوم	30	260-225	9	1	300(149)
3/8	1/16 كحد اقصى	3/16	3/16	هليوم	40	320-280	---	2	500(260)
وصلات تناكبية- حزم منفرد بشكل 60° V، وجه جذر 1/16 انج (d)									
1/2	1/16 كحد اقصى	3/16 و 1/4	1/4	هليوم	40	320-280	---	3	500(260)

وصلات طية- ملحومة زاوية (e)									
لا يوجد	1	10	150-130	15	اركون	1/16	1/16	0	1/16
لا يوجد	1	9	250-200	15	اركون	3/32, 1/8	3/32	0	1/16
(93)200	1	8	250-205	30	مليوم	1/8	1/8	0	3/16
(149)300	1	7	280-250	30	مليوم	1/8	1/8	0	1/4
(260)500	3	---	340-300	40	مليوم	3/16	3/16	0	3/8
وصلات الزوايا الخارجية- حز مربع									
لا يوجد	1	11	225-175	15	اركون	3/32, 1/8	3/32	كحد اقصى 1/8	1/8
(93)200	1	10	225-190	30	مليوم	1/8	1/8	كحد اقصى 3/16	3/16
(149)300	1	9	260-225	30	مليوم	1/8	1/8	كحد اقصى 3/16	1/4
(260)500	2	---	320-280	40	مليوم	3/16	3/16	كحد اقصى 1/4	3/8
وصلات الزوايا الخارجية - حز منفرد زاويته 50°، وجه الجذر 1/16 انج									
(93)200	1	8	250-205	30	مليوم	1/8	1/8	كحد اقصى 1/16	3/16
(149)300	1	7	280-250	30	مليوم	1/8	1/8	كحد اقصى 1/16	1/4
(260)500	3	---	340-300	40	مليوم	3/16	3/16	كحد اقصى 1/16	3/8
وصلات الزوايا الداخلية - حز مربع، ملحومة زاوية									
لا يوجد	1	9	250-200	15	اركون	3/32, 1/8	3/23	كحد اقصى 1/8	1/8



وصلات على شكل T - ملحومة زاوية									
لا يوجد	1	9	250-200	15	اركون	3/32, 1/8	3/32	كحد اقصى 1/16	8/1
(93)200	1	8	250-205	30	هيليوم	1/8	1/8	كحد اقصى 1/16	3/16
(149)300	1	7	280-250	30	هيليوم	1/8	1/8	كحد اقصى 1/16	1/4
(260)500	3	--	340-300	40	هيليوم	3/16	3/16	كحد اقصى 1/16	3/8

- (a) تهدف المعلومات التي في هذا الجدول بالدرجة الاساس الى ترسيخ التصميم والظروف المثلى للحام الاجزاء لمن تعوزهم الخبرة السابقة، فهي اذن خاضعة للتعديل عند الضرورة لتلائم المتطلبات الخاصة لكل حالة تطبيقية على حدة.
- (b) يمكن استخدام الحلقات او الاشرطة المسنودة من الخلف بشرائح من السيراميك او الكرافيت او الكاربون او النحاس.
- (c) يمكن استخدام خليط من غازي الاركون والهيليوم ايضا.
- (d) عمق الحز الخلفي على شكل V هو 3/8 من سماكة الجزء (الشغلة).
- (e) استخدام معدن الحشو اختياري للسماكة 1/4 in او اقل.



أشكال ملحقه بالجدول (11-2) تبين تصاميم لوصلات لحام مختلفة.

## 11- 6- 7 المسامية (Porosity):-

تمتلك بعض العناصر، على سبيل المثال، الخارصين والكاديوم والفسفور درجات حرارة انصهار واطئة. فيمكن ان تنتج المسامية من جراء تبخر هذه العناصر خلال عملية اللحام. وعند لحام سبائك النحاس المحتوية على هذه العناصر فيمكن تقليل المسامية باستخدام سرع لحام عالية ومعدن حشو لا يحتوي الا على القليل من هذه العناصر.

## 11- 6- 8 ظروف السطح (Surface Conditions):-

يجب ازالة الشحوم والاكاسيد من سطوح الجزء المراد لحامه قبل عملية اللحام. فيمكن استخدام الفرشاة السلكية او التنظيف الكيميائي بالغطس. يجب ازالة قشور التفريز (Milling) من سطوح برونزيات الالمنيوم وبرونزيات السليكون وحتى مسافة  $1/2$  in على الاقل من منطقة اللحام وتنجز بوسائل ميكانيكية عادة. يجب ازالة الشحوم والصبغ وعلامات اقلام التاشير اللونية واوساخ الورشة وما شابه ذلك من الملوثات من سطوح سبائك النحاس نيكل قبل عملية اللحام لما قد تسببه من هشاشة. ويجب ازالة قشور التفريز من سطوح سبائك النحاس نيكل بوساطة التنعيم (Grinding) او بالتنظيف الكيميائي، اما الفرشاة السلكية فغير ذات اثر.

## 11- 7 لحام قوس التنكستن الغازي (GTAW):-

تلائم تقنية لحام قوس التنكستن الغازي النحاس وسبائكه بسبب شدة قوسه الذي يعطي درجة حرارة عالية جدا عند منطقة الوصل و منطقة متأثرة بالحرارة (HAZ) ضيقة. فعند لحام النحاس وسبائكه الاكثر توصيلا للحرارة تكون شدة القوس مهمة في اكمال عملية الانصهار و باقل حرارة للمنطقة المجاورة في المعدن الاساس ذي التوصيلية الحرارية العالية. ومن المرغوب فيه ان تكون المنطقة المتأثرة بالحرارة ضيقة عند لحام سبائك النحاس المصلدة بالترسيب.

ان لحام قوس التنكستن الغازي للنحاس وسبائكه تستخدم على الاغلب في المقاطع التي سماكتها الى حد  $1/8$  in والتي تكون محضرة بجافة مربعة. ولا يستخدم عادة

معدن حشو في وصل هذه السماكات. وعند لحام مقاطع ذات سماكات اعلى من 1/8 in بقوس التنكستن الغازي فعندئذ يكون معدن الحشو لازماً. اما المقاطع التي سماكتها اكثر من 1/2 in فانها تلحم بتقنية قوس التنكستن الغازي اذا لم تتوفر اجهزة تقنية لحام قوس المعدن الغازي (GMAW) او عند الظروف الخاصة كالهشاشية الحارة للمعدن الاساس او ما يجاور ذلك من المعالم الحساسة للحرارة فعندئذ من الضروري الحد من الحرارة الداخلة. وعند مثل هذه الظروف تفضل عملية لحام قوس المعدن المغلف (SMAW) النبضي.

#### 11-7-1 نوع التيار Type of Current:-

يتم تنفيذ لحام قوس التنكستن الغازي للنحاس وسبائكه باستخدام القطب السالب للتيار المباشر (DCEN) (Direct Current Electrode Negative) للسماح باستخدام اسلاك لحام باصغر مقاس لتيار لحام معين ولضمان اقصى تغلغل. يستخدم التيار المتناوب المثبت بوساطة التردد العالي لسبائك النحاس بريليوم وبرونزيات الألمنيوم لمنع تكون اغشية الاكاسيد الشديدة التماسك على المعدن الاساس.

#### 11-7-2 الاقطاب (اسلاك اللحام) (Electrodes):-

يمكن استخدام اي من اقطاب التنكستن او التنكستن السبيكي القياسية للحام النحاس وسبائكه بتقنية (GTAW)، والظروف المذكورة هنا تنطبق بصورة عامة على هذه المعادن. عدا ماتم التنويه عنه للاصناف الخاصة من سبائك النحاس فيفضل استخدام قطب التنكستن- ثوريوم وعادة ما يكون النوع (EWTh2) وذلك للأداء الاحسن والعمر الاطول ومقاومة اعلى للتلوث.

#### 11-7-3 معادن الحشو (Filler Metals):-

ان معادن الحشو الاكثر استخداماً في تقنية (GTAW) للنحاس وسبائكه مدرجة في الجدول (11-3). يكون التكوين الكيميائي لمعدن الحشو في الغالب متوافقاً بشكل جيد مع تكوين المعدن الاساس (Base metal). ولكن ربما يتم اختيار معدن حشو ذو تكوين كيميائي يختلف عن المعدن الاساس. وسيتم التطرق الى الاسباب المؤدية الى ذلك في الفقرات الآتية من موضوع لحام قوس التنكستن الغازي لسبائك النحاس المختلفة.



# 11- 7- 4 التطبيقات الممكنة (Mechanized Applications)

ان احدى تطبيقات تقنية (GTAW) للنحاس وسبائكه والتي تمكن غالبا والى حد ما هي في لحام نهايات الانابيب بصفائح الانابيب (Tube Sheets). وفي المثال الاتي عند التغيير من لحام قوس التنكستن الغازي (GTAW) اليدوي الى اللحام المؤتمت (Automatic)، باستخدام معدات ممكنة، يزداد معدل الانتاج من ضعفين الى ستة اضعاف اضافة الى تحسن نوعية مثل هذا اللحام.

## جدول (3-11)

معادن الحشو الاغلب استخداما في تقنية (GTAW) للنحاس وسبائكه (a)

معدن الحشو	تصنيف جمعية اللحام الامريكية (AWS)	المحتويات الاساسية (b)
النحاس	ERCu	0.15P, 0.5Si, 0.5Mn, 1.0Sn, Ag+≥98.0Cu
برونزيات الفسفور	ERCuSn-A	0.1-0.35P, 4.0-6.0Sn, Ag+≥93.5Cu
برونزيات الالمنيوم	RCuAl-A2	Ag+Cu والباقي 1.5Fe, 9-11 AL
برونزيات الالمنيوم	ERCuAl-B	Ag+Cu والباقي 3.0-4.25Fe, 11.0-12.0Al
برونزيات السليكون	ERCuSi-A	≥ 94.0 Cu+Ag, 2.8-4.0Si, 1.5Zn, 1.5Sn, 1.5Mn, 0.5Fe
نحاس نيكل	ERCuNi	Ag-Cu والباقي 1.0Mn, 40-0.70Fe, 29.0-32.0(Ni+Co), 20-0.50Ti
(a) اعتمادا على AWS A5.6, A5.7, A5.27 نلاحظ الطبعة الحالية للمواصفات لمعرفة التكوينات الكيميائية كاملة وملاءمتها.		
(b) النسب المثوية المنفردة هي الحد الاقصى مالم يذكر خلاف ذلك. ان العناصر الاختيارية والشوائب قد حذفت.		

المثال الاول: التغيير من اللحام اليدوي الى لحام قوس التنكستن الغازي المؤتمت للانابيب مع صفيحة انبوب (Tube Sheet) وعند تصنيع المبادلات الحرارية والمكثفات



من انابيب سبائك نحاسية ذات سمك جدار مقدار 0.048in وقطر خارجي مقداره 3/4in تلحم بقوس التنكستن الغازي بصورة مؤتمتة مع صفيحة انبوب ذات سمك نموذجي مقداره 1in من مختلف السبائك النحاسية الاخرى (الجدول 11-4).

كان اللحام يتم في الاساس يدويا ولكن العملية كانت صعبة وتؤدي الى انتاجية منخفضة وذات نوعية لحام مشكوك فيها. اما عند التحول الى اللحام المؤتمت، فان مقاومة الشد لوصلة اللحام التي يمكن الحصول عليها عادة تساوي مقاومة الشد الدنيا للمعدن الاساس. اما معدلات الانتاج فكانت ضعف الى ستة اضعاف اسرع مما هي عليه في اللحام اليدوي. يبين الجدول (11-4) ظروف اللحام ومعدلات الانتاج ومقاومة شد اللحام للحام المؤتمت.

#### 11-7-5 اللحام التناكبي (Butt Welding):

ان التطبيق الاخر لتقنية (GTAW) الممكنة هي توصيل التناكب لنهايات اللفائف (الملفات) الصغيرة للاشرطة المعدنية لعمل لفائف اكبر. يستعرض راس قطب اللحام طول منطقة الوصل اوتوماتيكيا. ان استخدام هذه الطريقة لسبائك موصوفه في المثال الاتي:-

المثال الثاني: استخدام لحام قوس التنكستن الغازي لوصل اشربة السبائك. ان الاشرطة ذات السماكة (0.19in الى 0.03) وحتى (25in) عرضا للسبائك C11000 أو C12200 أو C23000 أو C26000 تلحم تناكبيا بتقنية (GTAW) نصف المؤتمتة وتحت الظروف المبينة في الجدول (11-5) لعمل اشربة طويلة لاجل اختزال السماكة بوساطة الدرفلة الباردة (Cold rolling). تكون السبيكة C26000 لينة عندما تلحم اما السبائك الاخرى فتكون صلبة.

يمكن بعد اللحام اجراء عملية الدرفلة لسبائك النحاس كالسبيكة C26000 ومن دون ان تنكسر منطقة اللحام. ان بعض سبائك النحاس، كالبراص، يتصاعد منها الدخان عند اللحام وعند فحص نماذج منها لوحظ وجود بعض المسامات في منطقة اللحام بسبب تبخر اوكسيد الخارصين.

الجدول (4-11) يتضمن ظروف اللحام ومعدل الانتاج ومقاومة الشد للحام قوس التنكستن الغازي (GTAW) لخمسة توليفات من صفائح الانايب وانايب سبائك نحاسية.

اللحام بالقطب السالب للتيار المباشر (DCEN) وغاز تغليف من الاركون بمعدل ضخ مقداره  $15\text{ft}^3/\text{h}$  وبدون معدن حشو.

جدول (4-11)

ظروف اللحام ومعدل الانتاج ومقاومة الشد في تقنية (GTAW) لبعض السبائك النحاسية

معدل مقاومة الشد (ksi)	معدل الانتاج قطع لحام بالساعة	زمن اللحام (S)	التيار (A)	ارقام السبائك (مع الاسماء الشائعة لها)	
				الانايب (b)	صفائح الانايب (a)
50.8	80-85	16	160-170	C68700 براس الالنيوم الزرنيخي	C61400 برونز الالنيوم D
34.3	90-100	12	170-180	C12200 برونز الفسفور متزوع الاوكسجين (DHP)	C6550 برونز عالي السليكون A
46.9	90-110	12	160-170	C44200 براس + Sn غير معالج	C65500 برونز عالي السليكون A
51.5	80-85	16	160-170	C68700 براس الالنيوم الزرنيخي	C65500 برونز عالي السليكون A
47.8	90-110	24	120-130	C71500 نحاس-نيكل، 30%	C71500 نحاس-نيكل، 30%

(a) السماكة النموذجية (1in) مع الثقوب (للانايب) وبزاوية محصورة  $82^\circ$  مع غرزلولي لعمق (0.04in).

(b)  $3/4\text{in}$  كقطر خارجي مع سماكة جدار مقدارها (0.048in).

## 11- 7- 6 النحاسيات Coppers:

ان نوعية وصلات النحاس التجاري الملاحوم بطريقة (GTAW) تختلف اعتمادا على محتوى النحاس من اوكسيد النحاسوز (Copprous Oxide). اما ظروف اللحام والسبك وتصميم الوصلات فهي مبينة في الجدول (11-2).

## 11- 7- 7 تأثير اوكسيد النحاس:-

يدخل او يتواجد اوكسيد النحاس في المعدن الاساس من جراء عملية تاكسد المعدن المنصهر اثناء اللحام بالقوس الكهربائي وخلال ذلك ينتقل هذا الاوكسيد الى الحدود البلورية. ومن ثم تنخفض المقاومة والمطيلية لمنطقة اللحام وكذلك يؤثر بشدة على خواص الكلال (Fatigue).

يمكن الحصول على نتائج ممتازة عند لحام النحاس المختزل بالقوس الكهربائي وذلك لانه:

- 1- خالي من اكاسيد النحاس
- 2- يحتوي على بقايا الفسفور والذي يتحد مع الاوكسجين خلال عملية اللحام او التسخين، ومن ثم يمنع تكون الاوكسيد.

## جدول (11-5)

ظروف لحام التناكب عند استخدام تقنية قوس التنكستن الغازي نصف المؤتمت لاشرطة سبائك النحاس.

سمك الشريط (in)	التيار (DCEN) (A)	الفولتية (V)	سرعة اللحام (in/min)
السبيكة C11000 او C12200			
0.030-0.035	80-95	20	50
0.080	230	21	40
0.190	420-490	13-14	20
السبيكة C21000 او C22000 او C23000			
0.030-.0350	80-95	20	50
السبيكة C26000			
0.090	180	17	35
يجب تنظيف النهايات المراد وصلها (لحامها) من الاكاسيد والزيوت ثم تقص بصورة عمودية انبا (بعد التنظيف) وتلحم تناكبيا ويحافظ على استقامتها وتسطحها بواسطة الملزمة. ومن الضروري مراعاة التكوين الكيميائي للمعدن المراد لحامه للسيطرة على نفوذ الانصهار لكامل سمك المعدن.			

تكون المقاومة والمطيلية والمسامية لمناطق اللحام في سبيكة C10200 (نحاس خالي من الاوكسجين) ذات قيم وسطية بين تلك التي لسبائك النحاس المختزل (C12200 و C12000) وتلك التي للسبيكة C11000 (النحاس الكهربائي المتين) والذي يحتوي على 0.02% الى 0.05% اوكسجين.

ان الانخفاض في الخواص الناتج من اللحام بالقوس الكهربائي للنحاس الحاوي على الاوكسيد هو اقل من الانخفاض الناتج من الغازات والهشاشة التي يعاني منها النحاس الحاوي على الاوكسجين عند لحامه بالاوكسي استيلين.

11- 7- 8 الغازات الواقية (Shielding Gases):

يفضل استخدام الاركون كغاز واق عند لحام المقاطع وحتى السمك (0.06in). اما عند لحام المقاطع الاكثرسمكا فيلزم سرعة لحام واطئة و تسخين مسبق مع غاز الاركون. ويفضل استخدام الهيليوم للمقاطع الاكثر سمكا من (0.06in). وفي حالة تكون نقرة لحام اكثر سيولة ونظافة عندئذ تقل كثيرا احتمالية انحصار الاكاسيد. وعند المقارنة مع الاركون، فالهيليوم يسمح بعمق اختراق اكبر وسرعة لحام اعلى وعند نفس تيار اللحام.

اما استخدام خليط من هذين الغازين فينتج عنه خواص لحام وسطية. وعند اماكن اللحام غير المستوية، فان استخدام مزيج من 65 الى 75% هليوم- اركون يعطي توازنا جيدا بين نوعية الاختراق مع الهيليوم وسهولة السيطرة مع الاركون. اما معدل جريان الغاز فيتراوح في العادة بين (15 الى 40 ft<sup>3</sup>/h) ويكون اكثر عند التيارات الاعلى والتي تستخدم عند لحام المقاطع الاكثر سمكا.

11- 7- 9 نوع التيار (Type of current):

لقد تمت الاشارة في الجدول (11-2)، ان DCEN هو المفضل في لحام قوس التنكستن الغازي (GTAW) للنحاس تجاري النقاوة.



## 11- 7- 10 الاقطاب:

يستخدم قطب التنكستن المحتوى على 2% من اوكسيد الثوريوم (EWTh-2). ويعتبر افضل قطب للحام النحاس بتقنية (DCEN) حيث يتطلب طرفه المدبب اقل صيانة مع افضل عمر. يكون راس القطب المستخدم في لحام النحاس مدببا وبزاوية مخروطية مقدارها (60°). تُقطع نقطة الراس المدبب عادة لتكون مساحته المستوية من (0.005 الى 0.02 in<sup>2</sup>). 11- 7- 11 اللحام بدون معدن حشو:-

يمكن لحام النحاس والى سمك (1/8 in) بالطريقة التناكبية وبتقنية (GTAW) وبدون استخدام معدن حشو، مع انه قد يستخدم في بعض الاحيان معدن حشو للسماكات القريبة جدا من (1/8 in).

اما عند المقاطع الاكثر سمكا من (1/8 in) فيمكن لحامها بقوس التنكستن الغازي مع استخدام معدن حشو وذلك بتمريرتين، من كل جهة واحدة. 11- 7- 12 معدن الحشو:

ويستخدم بصورة عامة في لحام النحاس بقوس التنكستن الغازي عندما يكون السمك اكبر من حوالي (1/8 in) (الجدول 11-2). ان اختيار معدن الحشو المحتوي على بقايا من العنصر المختزل مهم بسبب الاثار الضارة للاوكسجين على المقاومة والمطيلية وتامة (Soundness) منطقة اللحام. علما بان تاثير الاوكسجين اكثر ضررا على معدن الحشو مما هو عليه في المعدن الاساس نظرا لكون معدن الحشو اكثر عرضة لحرارة اللحام. وبصورة عامة يتم، بالنسبة للنحاس، اختيار معدن الحشو المحتوي على 0.15% P و 0.50% Si كعنصري اختزال (الجدول 11-3، AWS ERCu). اما المزايا الاخرى لمعدن حشو النحاس ERCu فهي توصيلته الكهربائية العالية نسبيا ( 30 IACS الى 40% ) واللون الجيد الذي يتماشى مع المعدن الاساس.

يمكن استخدام اي معدن حشو اخر مدرج في الجدول (11-3) في تقنية GTAW للحام النحاس التجاري (لانه يحتوي على كميات ملائمة من العناصر المختزلة) كالفسفور والسليكون والحديد والالمنيوم او التيتانيوم، وبالرغم من ان التوصيلية



الكهربائية تتأثر سلبا بوجود هذه العناصر الا انها تعزز مقاومة (Strength) وصلة اللحام.

11- 7- 13 تقنية اللحام:-

يمكن ان ينجز اللحام بحيث تكون فيه راحة اليد مماله باتجاه حركة اليد (Forehand) او عكس ذلك (Back hand). تحبذ الحالة الاولى في كل مواضع اللحام، لانها تعطي درزات (Beads) لحام اصغرواكثر انتظاما من لحام الحالة الثانية، ولذا تتطلب عدد اكثر من الدرزات ملء وصلة اللحام.

يجب ان تتغلغل الدرزة الاولى الى جذر وصلة اللحام وان تكون سميكة لاعطاء الزمن الكافي لاختزال معدن اللحام ومن ثم لتجنب تشقق الدرزة.

11- 7- 14 تصاميم وصلة اللحام:-

ان التصاميم المستخدمة في تقنية GTAW للنحاس وسبائكاته مبينة في الجدول (11-2). تتطلب وصلات اللحام التناكبية (Butt joints) فتحة جذر في المقاطع السميكة مع استخدام معدن حشو بسبب التوصيلية العالية للنحاس. ان قدرا من السماح (Clearance) مطلوب لمنع المعدن الاساس من تسريب الحرارة بصورة كبيرة لدرجة ان معدن الحشو يتجمد بسرعة بحيث يخنق (يغلق) منطقة اللحام قبل ان تمتلئ. تستخدم في العادة اشربة او حلقات سائدة، تصنع من نحاس او كاربون او كرافيت (Graphite) اوسيراميك. عنداللحام التناكبي لوصلات النحاس بتقنية GTAW، بسبب السيولة العالية.

11- 7- 15 التسخين المسبق:

يتطلب التسخين المسبق عادة عند لحام المقاطع الاسمك من 1/8 in بتقنية GTAW وذلك للمحافظة على المعدن الاساس عند درجة حرارة اللحام من دون فقدان (التسرب) المفرط لها الى المنطقة المحيطة. ان القوس الصغير المستخدم في GTAW لايمكن ان يحافظ على حرارة اللحام في المقاطع النحاسية السميكة حتى في احسن

الظروف. يعطي الجدول (11-2) درجات حرارة التسخين المسبق المطلوبة عند الظروف المختلفة.

11- 7- 16 النحاس المختزل:-

ان وصلات لحام النحاس التي يراد لها نفس مقاومة (Strength) المعدن الاساس تُعمل (تُصنع) من النحاس المختزل عادة. وحتى مع الحرارة الداخلة الموضعية لتقنية GTAW فقد تتطلب تثبيتا خاصا مع ظروف اخرى لتقليل التشويه.

11- 7- 17 النحاس الخالي من الاوكسجين والنحاس النقي المتين:-

تفضل تقنية لحام قوس التنكستن الغازي على لحام قوس المعدن الغازي او اية عملية تولّد حرارة موضعية داخلة أقل في لحام (وصل) النحاس الخالي من الاوكسجين (سبيكة C10200) او النحاس المتين النقي كهربائيا (السبيكة C11000) وعند سمك يصل الى (1/2in).

تمتلك وصلات لحام قوس التنكستن الغازي في سبيكة (C10200) مقاومة ومطيلية اقل وذات مسامية اكثر قليلا مما هو عليه الحال في النحاس المختزل، وذلك بسبب عدم وجود المادة المختزلة، الا اذا ابعدت كل البقايا (الاثار) القليلة المتواجدة من الاوكسجين.

في حين تمتلك وصلات لحام قوس التنكستن الغازي لسبيكة C11000 مقاومة شد اقل نوعا ما من وصلات لحام النحاس المختزل، وهي ذات طبيعة اكثر مسامية. ومع ذلك فان خواص وصلات لحام قوس التنكستن الغازي للنحاس المتين النقي كهربائيا (C11000) مقبولة في العديد من التطبيقات المتضمنة ملحومات الموصّلات الكهربائية - وخاصة عند كون مقاومة الشد غير مهمة نسبيا، كما هي الحال في ملحومات ملفات الحث (Induction Coil Weldments).

اما عند لحام سبائك النحاس مع بعضها بتقنية GTAW فهناك ظروف لحام مختلفة نوعا ما عن لحام النحاس غير السبيكي موجودة في الكتب المتخصصة.

## 11- 7- 18 اللحام مع المعادن المختلفة:-

يمكن لحام النحاس والعديد من سبائكه بوساطة قوس التنكستن الغازي مع سبائك النحاس الاخرى والفولاذ والفولاذ المقاوم للصدأ والنيكل وسبائكه، وعادة يتم ذلك بمساعدة معدن حشو. لان استخدام تقنية GTAW لهذه الغاية ينحصر في العادة على معدن خفيف. فيتم اللحام عادة بدون لحام سطحي اولي. اما عند لحام المعادن غير المتشابهة والتي يفوق سمكها (1/8in) فتفضل تقنية لحام قوس المعدن الغازي (GMAW). وعند عدم امكانية تطبيق هذه التقنية، فيتم اللحام بالقوس المعدني المغلف (SMAW). يوجه القوس عادة نحو المعدن الاكثر توصيلا في المعدنين المراد لحامهما.

## أ- اللحام باستخدام معدن حشو:-

يبين الجدول (6-11) توليفات من المعادن غير المتشابهة ملحومة بتقنية GTAW بالاستعانة بسبيكة نحاس او نيكل كمعدن حشو مع اعطاء معدن الحشو المفضل ودرجة حرارة التسخين المسبق لكل توليفة من المعادن. كل سبائك النحاس تقريبا القابلة للحام، كما في جدول (1-11)، يمكن ان تلحم، بهذه الطريقة، بمعادن مختلفة. لا تلحم سبائك النحاس - خارصين بطريقة قوس التنكستن الغازي مع معادن غير متشابهة، عدا عند لحام النحاس مع البراص منخفض الخارصين والذي يتم باستخدام برونز الفسفور كمعدن حشو.

## ب- التسخين المسبق (Preheating):-

ليس هناك حاجة للتسخين المسبق (قبل اللحام) اذا لم يكن احد او كلا المعدنين، غير المتشابهين والموجودين في الجدول (6-11)، المراد لحامهما ذوى توصيلية حرارية عالية اذا كان سمك كل منهما اقل من حوالي (1/8in).

وفي اغلب الحالات، وحسب الجدول (6-11) تستخدم درجة حرارة واطئة او متوسطة للتسخين المسبق عند لحام سبيكتين لهما متطلبات تسخين مسبق مختلفة. اما في حالة وصل النحاس مع المعادن الاخرى فتكون درجة حرارة التسخين المسبق عالية اي حوالي 1000 °F لضمان نجاح عملية اللحام نظرا لتوصيلية النحاس العالية. ويجب ان

لايسمح بالافراط في التسخين باكثر من الدرجة الموصى بها نظرا لكون اغلب سبائك النحاس تتصف بخاصية الهشاشة عند درجات الحرارة العالية (Hot Shortness).

جدول (6-11): معادن الحشو ودرجة حرارة التسخين المسبق المستخدمة عند لحام النحاس وسبائكه مع معادن مختلفة (a)

معادن الحشو ودرجة حرارة التسخين المسبق للحام معدن في العمود الاول مع اي من المعادن المذكورة					المعدن المراد
النحاس	برونزيات القصور	برونزيات الالنيوم	برونزيات السيليكون	سبائك نحاس نيكل	لحام
					سبائك نحاس
ERCuSn-A او ERCu (1000°F)					براس ذو خالصين منخفض
ERCuSn-A او ERCu (1000°F)					برونزيات القصور
ERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuAl-A2 او ERCuSn-A (400°F)				برونزيات الالنيوم
ERCuSn-A (1000°F) او ERCu	ERCuSi-A (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (150°F)			برونزيات السيليكون
ERCuAl-A2 او ERCuNi (1000°F) او ERCu	ERCuSn-A (150°F)	ERCuAl-A2 (150°F)	ERCuAl-A2 (150°F)		سبائك نحاس نيكل
					سبائك نيكل
ERNiCu-7 او ERCuNi (1000°F)	(b)	(b)	(b)	ERNiCu-7 او ERCuNi (150°Fmax)	النيكل وسبائك النيكل - نحاس
ERNi-3 (1000°F)	(b)	(b)	(b)	ERNi-3 (150°Fmax)	Ni- و Ni-Fe و Ni-Cr Cr-Fe



					الفولاذ
ERNi-3 أو ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (150°F)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 أو ERCu أو ERNi-3 (1000°F)	فولاذ منخفض الكربون
ERNi-3 أو ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 أو ERCu أو ERNi-3 (1000°F)	فولاذ متوسط الكربون
ERNi-3 أو ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 (500°F)	ERCuSn-A (500°F)	ERCuAl-A2 أو ERCu أو ERNi-3 (1000°F)	فولاذ عالي الكربون
ERNi-3 أو ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 (500°F)	ERCuSn-A (500°F)	ERCuAl-A2 أو ERCu أو ERNi-3 (1000°F)	فولاذ منخفض السيليكون
ERCuAl-A2 أو ERNi-3 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 أو ERCu أو ERNi-3 (1000°F)	فولاذ مقاوم للصدأ
					حديد الزهر
ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 أو ERCuSn-A (300°F)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 أو ERCu (1000°F)	الحديد الرمادي والطريق
ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 أو ERCuSn-A (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 أو ERCu (1000°F)	الحديد المطيل

(a) تعتمد معادن الحشو المختارة على اللحامية، إلا إذا كانت الخواص الميكانيكية هي الأكثر أهمية. يستخدم التسخين المسبق (قبل اللحام) فقط عند كون سمك الجزء المراد لحامه أكبر من حوالي 1/8 in أو أن توصيلته الحرارية عالية جداً. ويعتمد التسخين المسبق ودرجة حرارته على حجم وشكل قطعة اللحام.



## 11- 8 لحام القوس المعدني الغازي GMAW :-

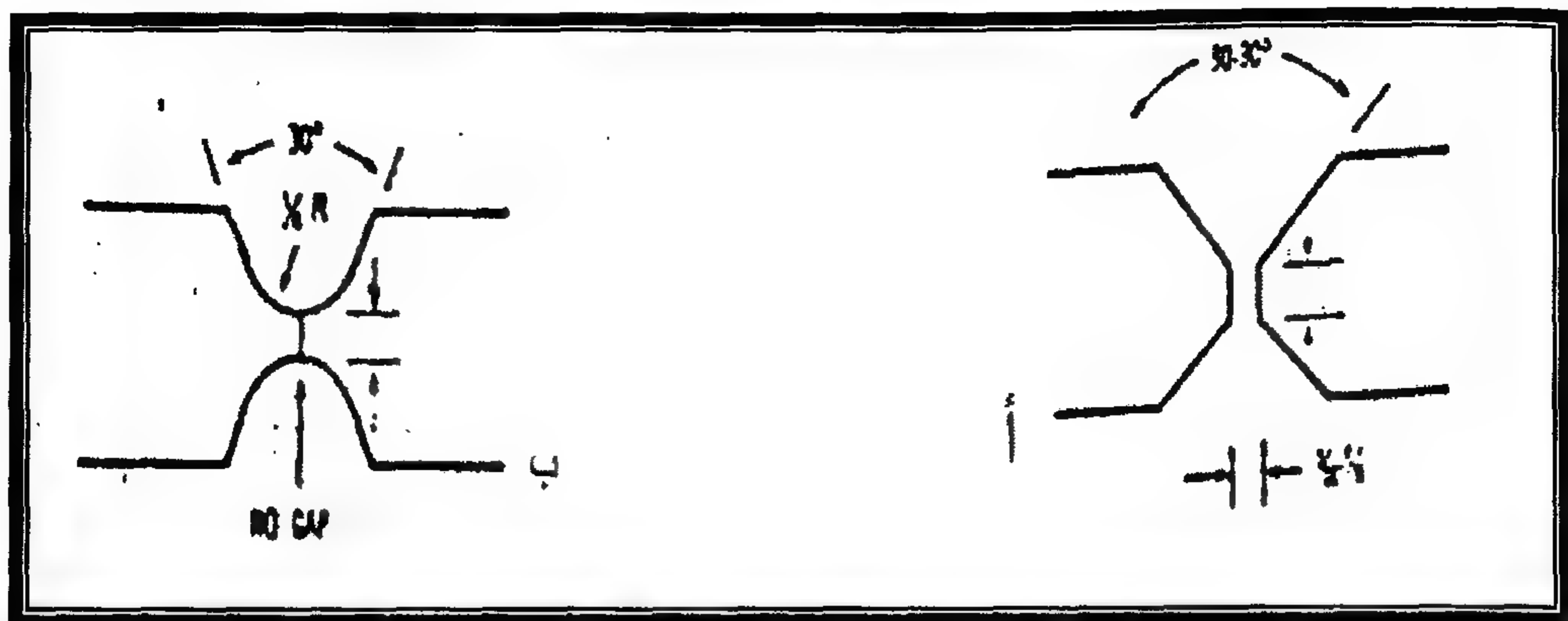
تستخدم هذه التقنية لوصل النحاس وسبائكه المدرجة في الجدول (11-1). وهي تفضل في وصل برونزيات الألمنيوم و برونزيات السليكون وسبائك النحاس نيكل وللمقاطع التي يزيد سمكها عن حوالي 1/8 in. في حين تفضل تقنية لحام قوس التنكستن الغازي للسماكات الاقل من حوالي 1/8 in.

ان التطبيقات الاغلب لتقنية (GMAW) هي لوصل سبائك النحاس من 1/8 وحتى 1/2 in سمكا. يتم اختيار هذه التقنية بصورة ثابتة تقريبا في لحام القوس لمقاطع سبائك النحاس الاكثر سمكا من حوالي 1/2 in، حيث ان معدل تراكم مادة اللحام هو الميزه الاهم فيها على تقنية GTAW او SMAW. لكن معدل التسخين العالي لمنطقة اللحام مقارنة بتقنية GTAW يعتبر مثلبة في بعض التطبيقات بسبب تكون منطقة متأثرة بالحرارة عريضة نسبياً.

## 11- 8- 1 ظروف لحام القوس المعدني الغازي :-

يستخدم في هذه التقنية الاركون في الغالب كغاز تغليف وفي بعض الاحيان غاز الهيليوم عند تطلب قوس ذو حرارة اعلى عند نفس مستوى التيار المستخدم مع الاركون. اما تيار اللحام فيستخدم وبصورة استثنائية التيار المباشر ذو القطب الموجب (DCEP) للنحاس وسبائكه.

يستخدم اخذود بشكل حرف (V) منفرد للسماكات بين 1/8 وحتى 1/2 in اما في المواد الاكثر سمكا من 1/2 in فيستخدم اخذودان على شكل حرف (V) او بشكل حرف (U) احدهما في السطح العلوي والاخر مقابلا له في السطح السفلي، الشكل (11-3).



الشكل (3-11)

اخذودان (ا) بشكل حرف (V) و (ب) بشكل الحرف (U).

تستخدم هذه التقنية للحام سبائك النحاس المسطحة والافقية. اما عند اللحام في اماكن غير مسطحة فتفضل عليها تقنية GTAW او SMAW. ومن المفضل استخدام اسلاك اقطاب صغيرة القطر والتيارات واطئة.

11 - 8 - 2 اسلاك الاقطاب (معادن الحشو)

Electrode wires (Filler metals)

ان مواصفات اسلاك الاقطاب المستخدمة في تقنية GMAW والمعادن التي تلحم فيها (تطبيقاتها) معطاة في الجدول (7-11).

## جدول (7-11)

معادن الحشو الملائمة لتقنية GMAW للحام النحاس وسبائكه.

السلك العاري (المجرد)	الاسم العام	التطبيقات للمعدن الاساس
ERCu	نحاس	لكل انواع النحاس
ERCu Si-A	برونز السليكون	برونزيات السليكون وانواع البراص
ERCu Sn-A	برونز الفسفور	برونزيات الفسفور وانواع البراص
ERCu Ni	النحاس نيكل	سبائك النحاس نيكل
ERCuAl-A2	برونز الالمنيوم	برونزيات الالمنيوم، البراص، برونزيات السليكون و برونزيات المنغنيز.
ERCuAl-A3	برونزيات الالمنيوم	برونزيات الالمنيوم
ERCu NiAl	-----	برونزيات الالمنيوم نيكل
ERCuMnNiAl	-----	برونزيات الالمنيوم نيكل منغنيز
RBCuZn-A	براص بحري	براص ونحاس
RBCuZn-B	براص منخفض الدخان	براص و برونزيات المنغنيز
RBCu-Zn-C	براص منخفض الدخان	براص و برونزيات المنغنيز

ان تاثير الاوكسجين في نشوء المسامية وخفض المقاومة في النحاس الملحوم معلومة، وكما وصفت في تقنية GTAW للنحاس، الا انها اكثر وضوحا في تقنية GMAW، لما يصاحب ذلك من حرارة عالية في هذه العملية. لذلك تكون المنطقة المتأثرة بالحرارة اكثر مسامية واقل مقاومة (Strength) عند لحام النحاس الخالي من الاوكسجين. لهذا تستخدم تقنية GMAW بصورة اقل من تقنية GTAW للحام النحاس النقي والنحاس الخالي من الاوكسجين.

### 1- 8- 3 سبائك النحاس غير المتشابهة:-

يمكن ان تستخدم تقنية لحام القوس المعدني الغازي (GMAW) لوصل كل سبائك النحاس القابلة للحام تقريبا. بشرط اساس وهو انتقاء سلك النحاس الملائم (ذو التكوين الكيميائي المناسب) ودرجة حرارة التسخين المسبق. وكبقية طرائق لحام المعادن غير المتشابهة، يوجه عادة القوس الكهربائي مباشرة الى المعدن الاكثر توصيلية حرارية في المجموعة.

### 11- 8- 4 التسخين المسبق:-

كما هو الحال في تقنية GTAW فان التسخين المسبق غير ضروري لوصل معدن بسمك اقل من حوالي 1/8 in الا اذا كان احد الجزئين له توصيلية حرارية عالية. اما عند السمك الاعلى فالحاجة الى التسخين واختيار درجة حرارته تتاثر بتصميم الوصلة وظروف اللحام. فعلى سبيل المثال، عند لحام النحاس مع سبائكه فان الحاجة الى التسخين تكون كبيرة لصهر النحاس العالي التوصيلية ودرجة حرارة التسخين المسبق في هذه الحالة هي 1000°F تقريبا.

### 11- 9 لحام القوس المعدني المغلف

#### Shielded Metal Arc Welding

يستخدم جذراخودود كبير الفتحة للنحاس وسبائكه عند استخدام هذه التقنية مع زاوية اخدود اعرض ولحام لدغي (Tack Weld) اكثر ودرجة حرارة تسخين مسبق اعلى ودرجة حرارة بين التمريرات اعلى ايضا وتيار اعلى اذا ما قورنت مع ظروف لحام الفولاذ المنخفض الكربون.

اما اسلاك اللحام وانواعها فهي مبينة في الجدول (8-11).

## جدول (8-11)

معادن الحشو للنحاس وسبائكه المستخدمة في تقنية SMAW.

تطبيقات المعدن الاساس	الاسم المعتاد	القطب المنطى
النحاس	نحاس	ECu
برونزيات السليكون والبراص	برونزالسليكون	ECuSi
برونزيات الفسفور والبراص	برونزالفسفور	ECuSn-C , ECuSn-A
سبائك النحاس نيكل	النحاس نيكل	ECuNi
برونزيات الالمنيوم، براص، برونزيات السليكون و برونزيات المنغنيز.	برونزالالمنيوم	ECuAl-A2
برونزيات الالمنيوم	برونزالالمنيوم	ECuAl-B
برونزيات النيكل المنيوم	-----	ECuNiAl
برونزيات المنغنيزنيكل المنيوم	-----	ECuMnNiAl

تقتصر تقنية لحام القوس المعدني المغلف في النحاس وسبائكه على لحام الاماكن المسطحة. ان من اهم مثال هذه الطريقة هي تكون المسامية في منطقة اللحام ومن ثم انخفاض مقاومتها وذلك بسبب امتصاص الاوكسجين من قبل النحاس اثناء عملية اللحام.

## 11- 10 التطويرات الحديثة :-

لا تزال هناك تحسينات وتطويرات جارية على عملية لحام القوس الكهربائي. فزيادة استخدام الاجهزة الالكترونية الدقيقة ينعكس في جيل جديد من مصادر الطاقة وعمليات السيطرة واجهزة المراقبة. ومع ذلك فهذا كله لم يؤثر على متطلبات الخبرة العملية والانتباه الى التصميم والقواعد الاساسية الميتالورجية للحصول على وصل (لحام) ناجح. وبدلا عن ذلك صار بالامكان السيطرة الالية (الآوتوماتيكية) لمختلف عوامل (معلمات) اللحام والتي بدون ذلك تتطلب التدخل يدويا. فمنذ ادخال تقنية لحام



القوس المغلف بالغاز الخامل، دخلت العديد من التطويرات التطبيقية في مجال لحام سبائك النحاس وهي:-

1- تقنية لحام قوس التنكستن الغازي ذو التيار النبضي (Pulsed-Current Gas Tungsten Arc Welding).

2- لحام القوس المعدني الغازي ذو التيار النبضي (Pulsed-Current Gas Metal Arc Welding).

3- لحام القوس المعدني الغازي ذو السلك النحيف (الدقيق) (Fine Wire Gas Metal Arc Welding).

4- لحام قوس البلازما (PAW(Plasma Arc Welding).

5- تقنية لحام القوس المغمور (Submerged Arc Welding).

## 11- 11 لحام الكاوية Soldering

بدا تطوير تقنية لحام الكاوية في بدايات القرن التاسع عشر عندما تطلبت الثورة الصناعية وسائل تصنيع افضل. فكانت التطبيقات الصناعية المبكرة هي التي تلت صناعة الراديو والتلفون والمصباح، والمبادلات الحرارية في السيارة (المشعات) (Car Radiators) الى ما لانهاية له من المنتجات الصناعية والتجارية. والحواسيب والاجهزة المتعلقة بها تتطلب هي الاخرى لحام كاوية ايضا.

ان سبائك الحشو (Solders) الاكثر استخداما في هذه التقنية هي تلك المتكونة من القصدير والرصاص. حيث يتفاعل القصدير وينتشر بسهولة في النحاس. تتقبل السبائك ذات الاساس النحاسي مقدارا محددًا من القصدير في المحلول الجامد. اما عند زيادته عن حدود الذوبان في المحلول الجامد فسوف يتكون طور معدني بيني هو على الاغلب  $Cu_6Sn_5$ . وبما ان هذا الطور هش نسبيا لذلك ينصح بان تكون طبقة الحشو رقيقة. لذلك قد تضاف بعض العناصر لهذا النوع من سبائك الحشو (Sn-Pb) لتحسين خواصها.

يمكن ان يعرف لحام الكاوية بأنه التئام (التحام) المعدن عند درجة حرارة تحسّت  $800^{\circ}\text{F}$  تقريباً اي حوالي  $426^{\circ}\text{C}$ .

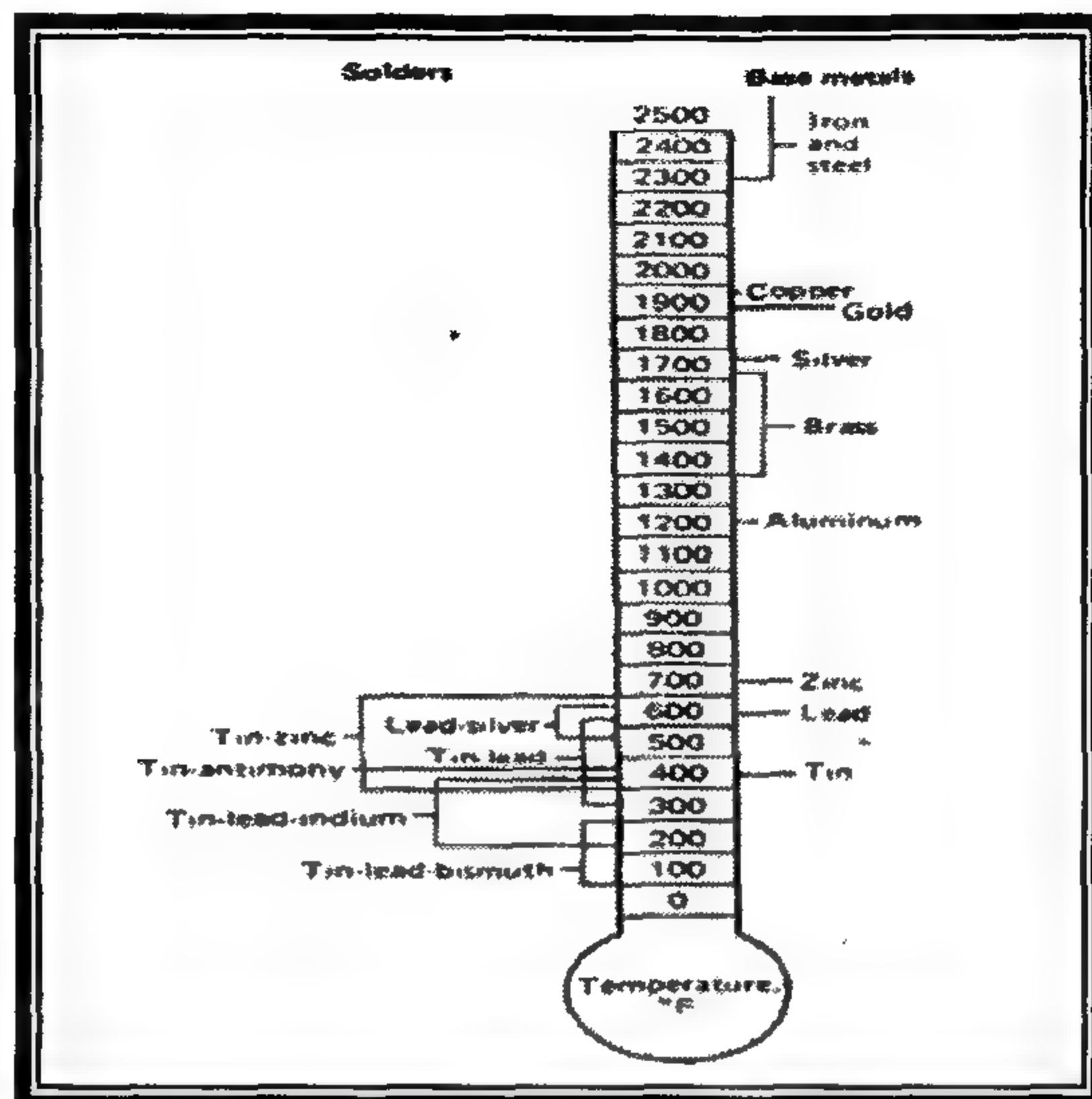
اذن في هذا النوع من اللحام (لحام الكاوية) توصل المعادن بتسخينها عند درجة حرارة ملائمة هي اقل من درجة حرارة التصلب (التجمد) لاي من المعدنين (المراد وصلهما مع بعض) وباستخدام معدن حشو (Filler metal) له درجة سيولة لا تزيد عن  $840^{\circ}\text{F}$  ( $450^{\circ}\text{C}$ ). فمعدن (سبيكة) الحشو يدخل او يتشرب بين السطحين المتلامسين (للمنطقة المراد لحامها) بوساطة الخاصية الشعرية (Capillary Action).

ان اهم سبائك لحام الكاوية (Soldering alloys) هي سبائك القصدير-رصاص (Tin-Lead) وبنسب مختلفة وحسب الملاءمة. يتفاعل القصدير مع المعدن الاساس مكوناً رابطة (اصرة) ميتالورجية (Metallurgical bond). ان تغيير نسب القصدير والرصاص وازافة عناصر سبيكة اخرى تؤدي الى تغيير مدى انصهار السبيكة، اضافة الى تغيير خواصها. فيمكن ان تحتوي سبيكة لحام الكاوية على الانتيمون (Antimony) (Sb) والفضة والخارصين والاندسيوم (In) والبزموت (Bi). ويمكن المقارنة بين درجات حرارة انصهار سبائك اللحام والمعدن الاساس (المراد لحامه) من الشكل (4-11).

## 11-11-1 اساس لحام الكاوية:

عندما ينصهر معدن اللحام والمادة الصهورة (Flux) (المساعدة على صهر المعدن)، فسينساب سائل المواد المصهورة على السطوح المراد وصلها. وعادة ماتكون النظافة والتكوين الكيميائي لهذه السطوح لهما الدور الهام في هذه العملية. ان اهم وظيفة للمادة الصهورة هي ضمان ان المعدن الاساس نظيف بصورة مقبولة ليتمكن معدن اللحام من الانتشار والانسياب لتعزيز تكون وصلة اللحام جيدة. يزيح سائل المعدن المادة الصهورة من سطوح منطقة اللحام ليصبح على اتصال تام ومباشر بالمعدن الاساس فاسحا المجال

لامكانية التفاعل الميتالورجي بين سائل اللحام والمعدن الاساس. يستمر المركب المعدني المتكون بالنمو بمعدل عال حتى يحدث التجمد عند منطقة الوصل.



الشكل (11-4)

مديات درجة انصهار سبيكة لحام الكاوية بالمقارنة مع درجات انصهار المعدن الاساس.

وعندما تتجمد منطقة الوصل تماما تستمر عملية الانتشار (Diffusion) بين المعدن الاساس ومادة اللحام حتى تبرد كامل المجموعة الى درجة حرارة الغرفة. وكنتيجة لذلك تعتمد الخواص الميكانيكية للمناطق الملحومة بصورة عامة على الخواص التي تمتلكها سبيكة اللحام ولكن ليس بالضرورة مكافئة لها.

يتم اجراء معظم عمليات لحام الكاوية في الهواء وباستخدام مادة صهورة تعمل على تكوين حاجز ضد التاكسد والتفاعل مع الجو.

11- 2 سبائك لحام القصدير/ رصاص :-

يتم استخدام مدى واسع من مجموعة سبائك القصدير/ رصاص ولان لكل سبيكة منها تركيبها الكيميائي الخاص ومن ثم خواصها. لذلك يجب التأني عند اختيار سبيكة

اللحام المحددة. ان سبائك اللحام في نظام القصدير/رصاص هي الاكثر شيوعا في الاستخدام. يدرج عادة محتوى القصدير اولا، فعلى سبيل المثال، تكوين السبيكة 6040- يشير الى 40 % قصدير و 60% رصاص. ومجموعة السبائك هذه متوفرة بمديات درجات انصهار صغرى تصل الى 360°F (180°C) اوعليا تصل الى 600°F (315°C). ومع استثناءات معينة، تنصهر كل سبائك لحام الكاوية بمديات درجة حرارة تتغير تبعا للتكوين الكيميائي للسبيكة.

#### 11- 11- 3 التطبيقات:-

ان سبائك لحام الكاوية التي تحتوي على 50% قصدير تستخدم لوصل الحاويات المطلية بالقصدير وصناعة مشعات (Radiators) السيارات. اما سبائك لحام الكاوية لعامة الاغراض فهي تحتوي على 40-50% قصدير اما استخداماتها فتشمل تصليح المواسير واعمال السمكرة وللتوصيلات الكهربائية والاعمال البيتية العامة. اما السبائك 40-60 و 37-63 فتستخدم بشكل واسع في الصناعات الالكترونية.

#### 11- 11- 4 المواد الصهورة Fluxes:-

ان تقنية هذه المواد معقدة، وتؤثر المواد الصهورة الاكالة والمستخدمة للاغراض العامة في النحاس والبراص والبرونز. وتطبيقاتها تشمل انتاج مشعات السيارات ومكيفات الهواء واجهزة التجميد وتجميع صفائح المعدن----الخ.

اما المواد الصهورة غير الاكالة (Non Corrosive) فهي ذات اساس راتنجي (Resin based). وفي كل تطبيقات لحام الكاوية سواءً الالكترونية منها او الخاصة فان أسلم (آمن) مواد صهورة معروفة هي ما يسمى الراتنج الابيض المائي المذاب في مذيب عضوي. هذه المواد الصهورة ذات تاثير جيد في تنظيف النحاس والبراص والبرونز والمعادن المطلية بالقصدير وما شابه ذلك.

#### 11- 11- 5 التنظيف الاولي وتحضير السطح

(Prcleaning and Surface Preparation)





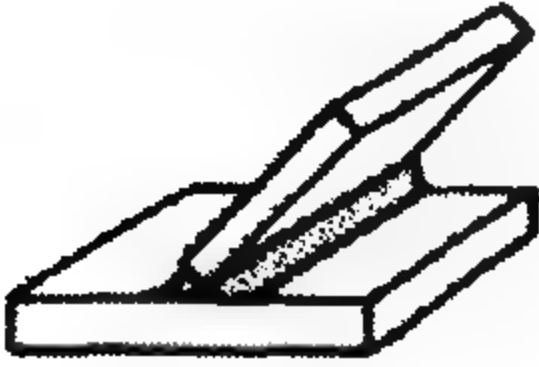

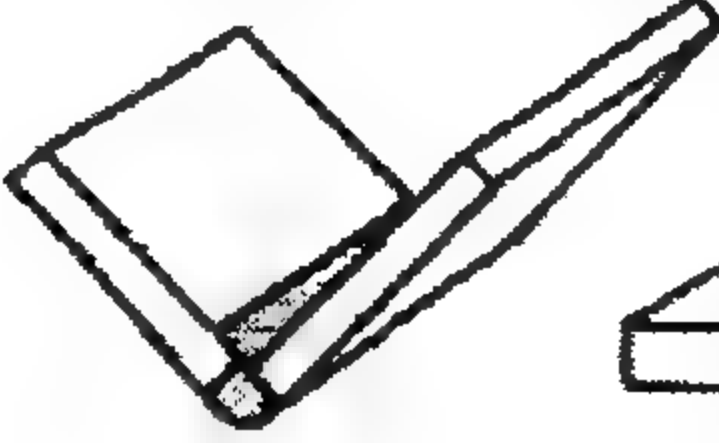

تتعارض اغشية الزيوت والشحوم والاكاسيد واثار الاصباغ الدهنية ومزيتات القطع (Cutting Lubrications) واوساخ المحيط (الجو) بشكل عام مع لحام الكاوية.



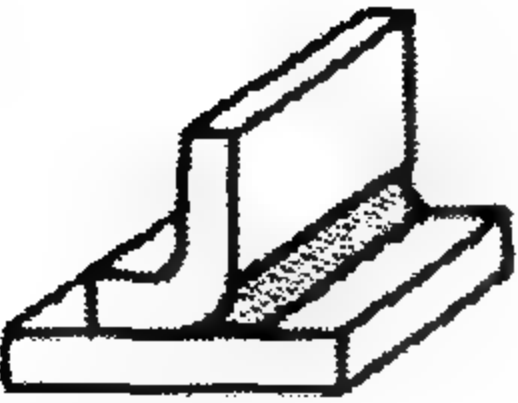



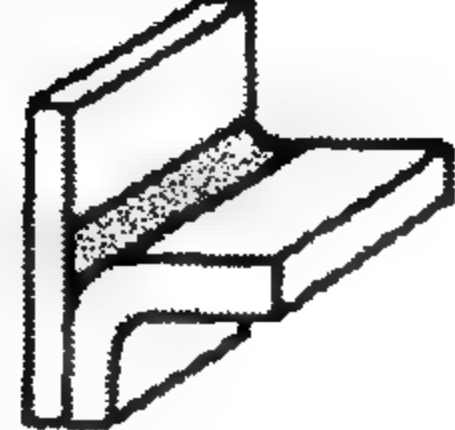

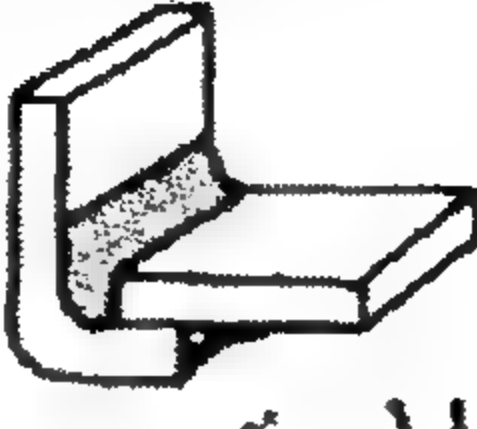

اذن يجب الحصول على سطح نظيف لضمان وصل (Joint) منتظم وتام. لا يمكن الاستعاضة عن التنظيف الاولي المناسب بالمواد الصهورة لوحدها. ان اغلب طرائق التنظيف الاعتيادية تتضمن ازالة الشحوم والتنظيف بالحامض والتنظيف بالمواد الحاكاة والتنظيف الكيميائي.

## 11- 11- 6 تصميم وصلة اللحام:-

تكون مقاومة (Strength) سبائك لحام الكاوية نفسها، بصورة عامة، اقل من مقاومة المواد الاساس التي توصل (تلحم) بها. الا ان وصلات اللحام يجب ان تتمكن من تحمل الاحمال التي تتعرض لها اثناء الخدمة وعلى طول عمر وصلة اللحام المتوقع. ويعتبر التمزق الاجهادي (Stress rupture) وخواص الزحف (Creep) من الخواص الخطرة (الحرجه) في هذه الحالة. وهناك تصاميم وصلات عدة موضحة في الشكل (11-5). وتعتبر الوصلة المتراكبة (Lap joint)، على سبيل المثال، من التصاميم المحافظة والامنة.

			
بشكل حرف T	متراكب	زاوي	تناكب شريطي منفرد
			
حرف T زاوي	تراكب مزدوج	زاوي	تناكب الشفه



			
حرف T ذو شفه	تراكب تساطحي	تماس شفه زاوي	تماس خطي
			
لحام حافه ذات شفه	لحام مستمر مقفل السطح	لحام قعر ذو شفه	لحام قعر ذو شفه

الشكل (5-11)

تصاميم الوصلات المستخدمة غالبا في لحام الكاوية.

## 11- 12 التبريص Brazing :-

يعرف التبريص بأنه مجموعة من عمليات الوصل (Joining) والتي تكون اصرة او رابطة (Bonding) معدنية بالانصهار واعادة التجمد لمعدن الحشو (Filler metal) في الفجوة بين السطوح المراد لحامها او وصلها. يجب ان تكون حرارة انصهار معدن الحشو اقل من المادة المراد لحامها، لان المعدن الاساس في هذه التقنية لا ينصهر. يتوزع معدن الحشو المسال، في التبريص الاعتيادي، بين السطوح المتماسية او المعدن الاساس عند نقطة الوصل بوساطة الخاصية الشعرية (Capillary action)، والتي تعمل بموجبها قوى التماسك والتلاصق على جعل المعدن المسال ينساب بين السطوح المتماسية حتى لو كان الانسياب عكس الجاذبية الارضية.

يمكن لأغلب المعادن ان توصل (تلحم) بالتبريص، ولكن ليس بالضرورة بنفس الجهاز أو الأسلوب أو الطريقة. و ستتطرق فيما يأتي الى عدة طرائق تجارية للحام النحاس وسبائكه وهي تصلح أيضا لوصل الفولاذ وحديد الزهر (Cast iron) والفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) والالمنيوم وسبائكه. ويشترط لكل سبيكة، يراد لحامها، ظروف خاصة كنوع سبيكة الحشو ودرجة الحرارة وغير ذلك وحسب المتطلبات الخاصة بها. ويعتبر التبريص أحد أهم التقنيات لوصل سبائك النحاس. وتستخدم في العادة معادن حشو ذات أساس فضي (Silver-Base Filler Metals) مع درجات حرارة تبريص تتراوح بين  $1145^{\circ}\text{F}$  إلى  $1600^{\circ}\text{F}$  أو من سبيكة النحاس - فسفور والتي تتطلب درجات حرارة تبريص من  $1300^{\circ}\text{F}$  إلى  $1500^{\circ}\text{F}$ . أما معدن حشو الدرجات الحرارة العالية فيشمل سبائك النحاس - خارصين. وتستخدم سبائك الذهب بالدرجة الأساس في التطبيقات الالكترونية عندما يتطلب الأمر ضغط بخار معدن حشو واطئ. تطبق طرائق التبريص القياسية لوصل النحاس وسبائكه والجدول (9-11) يتضمن مقترحات لاختيار سبائك التبريص والطرائق الملائمة لها.

11 - 12 - 1 أنواع التبريص (Types of Brazing): -

يمكن تزويد الحرارة الخاصة بهذه التقنية من عدة وسائل مختلفة، وفي الأغلب الأعم هي المشعل (Torch) والحث (Induction) والفرن (Furnace) والغطس الحار (Hot Dipping).

#### 1- تبريص اللهب (Torching brazing): -

وهي إحدى الطرائق الأقدم والأكثر استخداما وانتشارا كمصدر حراري للتبريص وتعد الأكثر تنوعا وتوافقا مع أكثر الأشغال. فهي بالخصوص ملائمة لأعمال التصليح في الحقل والأعمال الصغيرة في الحانات (الدكان). وهي من الأعمال اليدوية، وقد يكلف التبريص باللهب أجور عمل عالية. وبمهارة وتخمين فني اللهب يمكن تحديد نوعية الشغل الناتج.

يمكن استخدام الغاز الطبيعي والاكسجين او الهواء والاستيلين او البيوتان او البروين والاكسي استيلين الاعتيادي.

واذا استخدم الاخير، فيستحسن اللهب المتعادل والذي هو الظرف المتوازن للاستيلين والاكسجين. ويمكن استخدام اللهب المختزل (Reducing Flame)، اي اللهب الذي فيه زيادة من الاستيلين، وذلك لتجنب تاكسد المعدن. يسخن معدن الحشو باللهب عند منطقة الوصل عندما تكون المادة الصهورة بشكل سائل رائق. فالمعدن الاساس، وليس اللهب، هو الذي ينقل الحرارة الى سبيكة التبريص.

## 2- تبريص الحث (Induction brazing):-

يتم تزويد الحرارة في تبريص الحث بواسطة ملف يمر فيه تيار متناوب (ac) موضوع على مسافة قريبة جدا من منطقة الوصل. يتم الحصول على التيار عالي التردد (High Frequency Current) عادة بواسطة مذبذب الحالة الصلبة (Solid State Oscillator) والذي يولد ترددا بين 20 000Hz الى 5000 000Hz. تولد التيارات المتناوبة عالية التردد تيارات معاكسة في القطعة المراد لحامها بالحث والتي تنتج حرارة بسبب المقاومة الكهربائية في القطعة. ولهذه الطريقة مزايا هي انها تعطي:-

1- حرارة جيدة التوزيع في القطعة.

2- سيطرة دقيقة على الحرارة.

3- تجانس في بنية اللحام.

4- سرعة في الاداء.

فهي اذن جيدة لبعض انواع الاشغال التي تتطلب خواص انتاجية متشابهة والتي يلزم السيطرة الدقيقة عليها.

جدول (9-11)

مرشد لعملية التبريس للنحاس وسبائكه.

الملاحظات	رقم المادة المصهورة للتبريس بموجب AWS <sup>®</sup>	اعلى درجة حرارة يتكثف عندها البخار °F	الجو المحيط به	سبائك التبريس المألوفة	السبيكة المراد لحامها
سبائك النحاس العاوية على الاوكسجين يجب ان لا تلهم بالتبريس في اجواء محتوية على غاز الهيدروجين	3 او 5	20+	جوفضاب او غني بالفازات المتحررة	RBCuZn , BCuP-3 , BCuP-5	النحاس
		20+	غازات متفاعلة متممة	BAG-2 , BAG-1 , BAG-1a	
		20+	امونيا متحللة	BAG-18 , BAG-6 , BAG-5	
	A3			BAG-1 , BAG-8	النحاس العالي
	3	10+	غازات متحررة منضبة نقيه	BAG-2 , BAG-1 , BAG-1a	البراس الاحمر
		10+	غازات متفاعلة متممة	BCuP-3 , BCuP-5	
	او 5 لبيكة التبريس RBCuZn	20+	امونيا متحللة	RBCuZn , BAG-6 , BAG-5	
يتم المحافظة على دورة تبريس قصيرة	3	40-	غازات متحررة منضبة نقيه	BAG-2 , BAG-1 , BAG-1a	البراس الاصفر
		20-	غازات متفاعلة متممة	BAG-6 , BAG-5	
		20+	امونيا متحللة	BCuP-3 , BCuP-5	
المحافظة على دورة تبريس قصيرة وعمل ازالة للاجهادات قبل عملية التبريس	3	4-	غازات متحررة منضبة نقيه	BAG-2 , BAG-1 , BAG-1a	البراس الرصاصي
		20-	غازات متفاعلة متممة	BAG-18 , BAG-7	
		20+	امونيا متحللة	BCuP-3 , BCuP-5	

	3	40-	غازات متحررة منضبة نقيه	BAg-2,BAg-1,BAg-1a	براس القصدير
		20-	غازات متفاعلة متمصه	BAg-6,BAg-5	
		20+	امونيا متحللة	BCuP-3,BCuP-5 (RBCuZn للتصدير المنخفض)	
ازالة الاجهادات قبل عملية التبريد	3	20+	جومنضب اوغني بالغازات المتحررة	BAg-2,BAg-1,BAg-1a	برونزيات الفسفور
		20+	غازات متفاعلة متمصه	BCuP-3,BCuP-5	
		20+	امونيا متحللة	BAg-5,BAg-5	
ازالة الاجهادات قبل عملية التبريد وقد يساعد التنظيف بالحك في انجاح العملية	3	40-	غازات متحررة منضبة نقيه او امونيا متحللة	BAg-2,BAg-1,BAg-1a	برونزيات السليكون
	4	40-	غازات متحررة منضبة نقيه	BAg-1,BAg-1a,BAg-3	برونزيات الالمنيوم
		40-	امونيا متحللة	BAg-2	
ازالة الاجهادات قبل عملية التبريد	3	20+	جومنضب اوغني بالغازات المتحررة	BAg-2,BAg-1,BAg-1a	نحاس - نيكل
		20+	غازات متفاعلة متمصه	BAg-5,BAg-13	
		20+	امونيا متحللة	BCuP-3,BCuP-5	
ازالة الاجهادات قبل عملية التبريد والتسخين بصورة منتظمة	3	40-	غازات متحررة منضبة نقيه	BAg-2,BAg-1,BAg-1a	فضيات النيكل
		20-	غازات متفاعلة متمصه	BAg-6,BAg-5	
		2+	امونيا متحللة	BCuP-3,BCuP-5	
*عادة ما يكون جو الغاز الحامل او الفراغ (Vacuum) مقبولا ايضا.					
**AWS تعني جمعية اللحام الامريكية وهي مختصرل(Amarican Welding Society).					



### 3- تبريص الفرن (Furnace brazing):-

وفيها يجب ان توضع المادة الصهورة ومادة التبريص المستخدمة في الوصلات والاجزاء المراد لحامها (تبريصها) في الفرن مسبقا. فاذا كان جو الفرن متعادلا او محجوبا (Shielded) فقد يمكن الاستغناء عن المادة الصهورة. يمكن ان يكون الفرن من النوع ذو الوجبة او الحزام الناقل (Conveyer). ان السيطرة الالية تنظم كلا من الزمن ودرجة الحرارة وكذلك محيط الفرن عندما يتطلب الامر ذلك.

### 4- تبريص الغطس (Dip Brazing):-

اخذت هذه الطريقة هذا الاسم كون ان الاجزاء، المراد لحامها، يتم هزها (تحريكها) وهي داخل المادة الكيميائية او المعدن المنصهر الاحم حيث يحافظ على درجة حرارة كليهما عند درجة حرارة التبريص المضبوطة. يتم تنظيف الاجزاء في المادة الكيميائية اولا ومن ثم يوضع معدن الحشو في المكان المراد لحامه من منطقة الوصل. يحفظ حمام الملح السائل عادة عند درجة حرارة اعلى من تلك اللازمة لمعدن الحشو المراد استخدامه. تؤخذ الاجزاء بعد ذلك مباشرة وتنظف انيا لازالة المادة الصهورة منها. اما عدد وحجم الاجزاء التي يراد تبريصها فتحدد بسعة الحمام المستخدم وامكانيات المناولة.

### 11- 12- 2 تبريص المقاومة Resistance brazing:-

يعتبر تبريص المقاومة نوع كهربائي من انواع عمليات التبريص. اذ انه يتم الحصول على الحرارة بامرار تيار خلال الاجزاء المراد تبريصها. وهناك نوعان متميزان من الاجهزة المستخدمة:

1- تلك التي تستخدم القضبان الكربونية.

2- مكائن لحام المقاومة الاعتيادية.

عند استخدام القطع او القضبان الكربونية كاقطاب يتم تسخينها الى درجة حرارة الاحمرار بسبب مقاومتها الكهربائية فاغلب الحرارة التي يتم الحصول عليها في منطقة الوصل تاتي من اقطاب الكربون الساخنة. يمكن ان تكون الاجهزة المستخدمة صغيرة بحيث يمكن حملها ونقلها او كبيرة لا يمكن تحريكها (ثابتة).

اما مكائن لحام المقاومة التي تحتوي على اجهزة توقيت، فتعطي نتائج جيدة وسرعة عالية بالنسبة لوصل الاجزاء الصغيرة. فهي مناسبة خاصة للنحاس وسبائكه.

يمكن استخدام السلفوز (Sil-Fos) مع كمية قليلة من معجون المادة الصهورة للبراص. فيجب ابقاء الضغط مسلطا على الوصلة حتى تتجمد السبيكة وعندها يزال الضغط وحالما يزال تتمد وصلة اللحام الحارة في الماء لازالة المادة الصهورة والمحافظة على عوازل الكابلات. فالنتيجة هي الحصول على وصلة لحام نظيفة وجيدة مع اقل مقدار من التأثير الحراري. وهذه هي الطريقة الوحيدة والتي يمكن بها الحصول على وصلات تبريص فضي من دون حرق لعوازل الكابلات النحاسية ذات المقاسات المحددة او الافراط في تسخينها.

هذه المكائن مزودة باقطاب مسطحة من التنكستن او سبيكة ذات نسبة عالية من التنكستن مسنودة بنحاس مبرد بالماء بحيث ان اغلب الحرارة تتولد عند الوصلة. يعمل التبريد المائي على تجمد السبيكة بسرعة. ان زمن التسخين قد يكون بحدود نصف ثانية ونادرا ما يتعدى الى ثلاث ثوان للوصلات الكبيرة.

لطريقة تبريص المقاومة عادة بعض المزايا وهي:-

1- يمكن ان تكون اوجه الاقطاب مسطحة او مشكلة حيث تتولد الحرارة عند الضغط.

2- تسخين سريع وتبريد سريع.

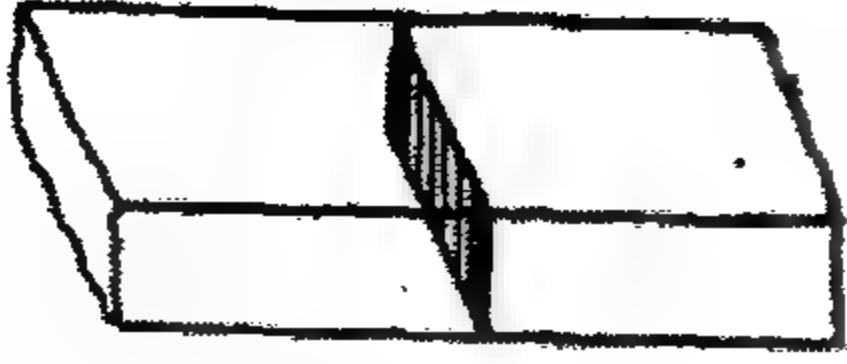

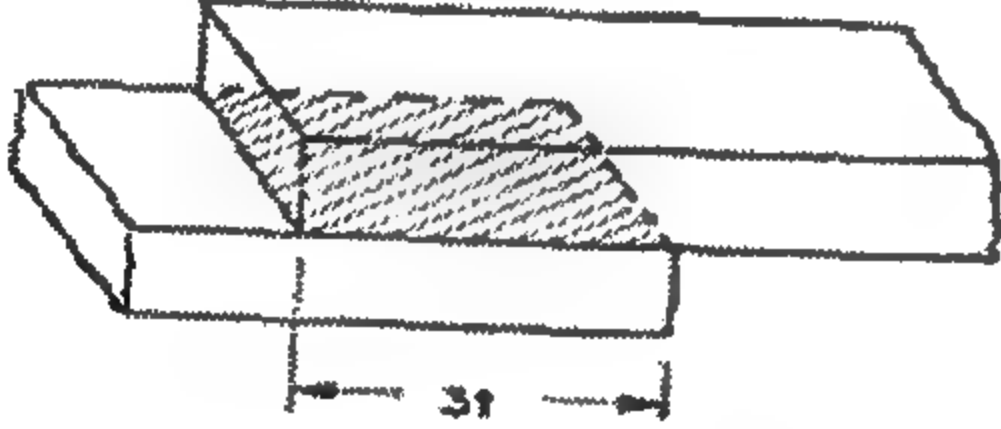
3- التقليل من خطر اللهب.

4- لا تتطلب الخبرة العالية.

### 11- 12- 3 تصميم وصلات التبريص Brazing Joint Design:-

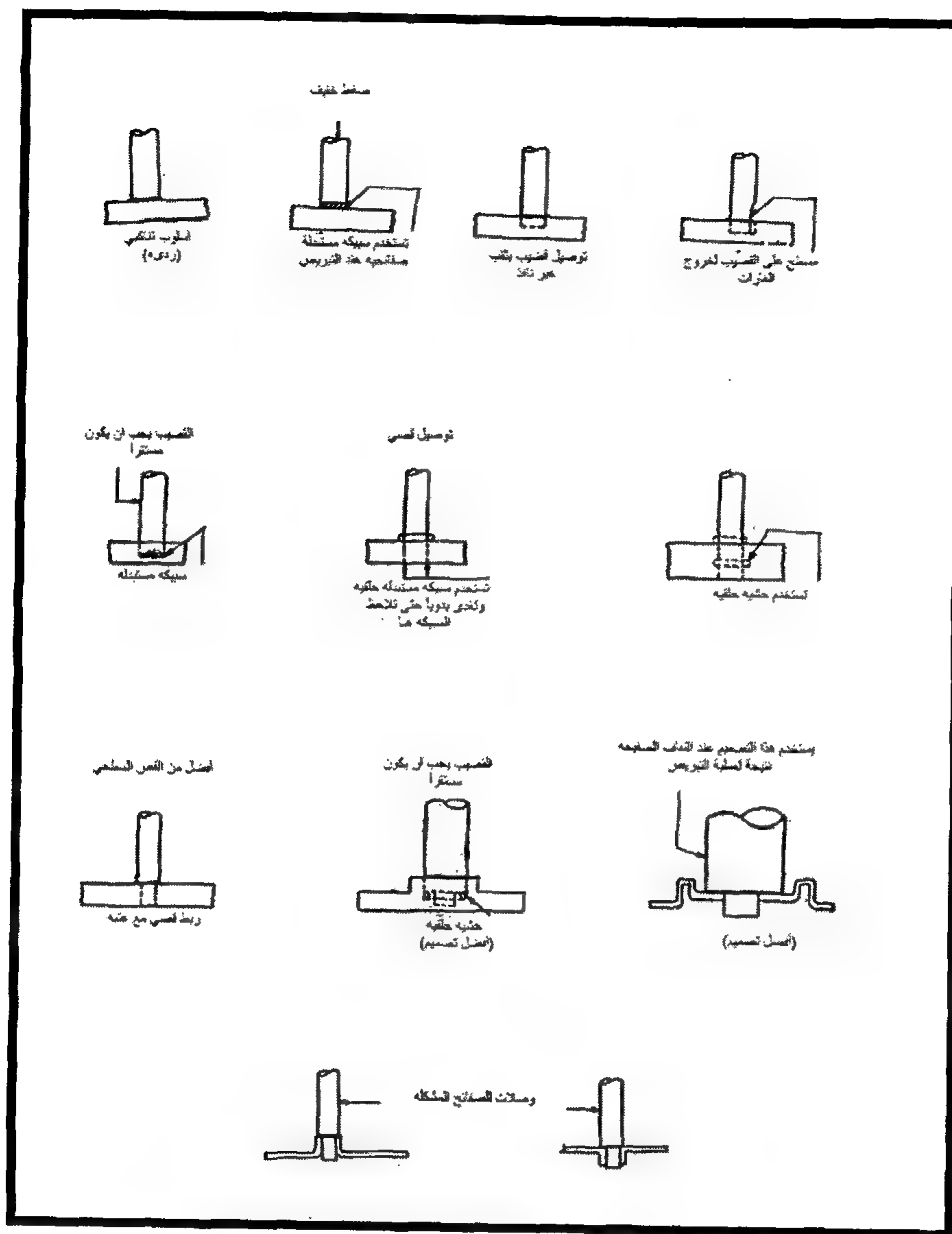
هناك عاملان مهمان يجب ان يؤخذا بعين الاعتبار في تصميم وصلة لحام التبريص هما المساحة والسماح (Clearance). يُظهر الشكل (11-6) امثلة لقاعدة المساحة في تصميم وصلات التناكب (Butt) والتراكب (Lap). فيعطي تراكب ثلاثة الى اربعة اضعاف مقدار سمك الجزء الانحف (الاقل سمكا) من القطعة على الجزء الاخر أعلى كفاءة تبريص.

يؤدي مقدار التراكب الاكبر مما ذكر الى عدم تامة تغلغل سبيكة التبريص اضافة الى توليد المتضمنات (Inclusions). والوصلات اعلاه ملائمة في تضيق التهريب في حالة التوصيلية الكهربائية الجيدة. والشكل (11-7) يبين بعض تصاميم وصلات التبريص المختلفة.

 <p>(a)</p>	<p>(a) الوصل التناكبي رديء جدا.</p>
 <p>(b)</p>	<p>(b) الوصل القراني التناكبي أفضل بكثير (Scarf butt joint).</p>
 <p>(c)</p>	<p>(c) طول وصلة التراكب يجب أن يكون ثلاثة أضعاف سمك القطعة المراد تبريصها.</p>

شكل (11-6)

معيار المساحة في جودة وصلات التبريص المختلفة.



شكل (11-7)

بعض التصميمات المختلفة لوصلات التبريص.



## 11- 12- 4 سماحية وصلة لحام التبريص:-

يحدد سماح وصلة اللحام مقدار سمك غشاء سبيكة اللحام (Filler) التي سوف تشكل بين الاجزاء. ولهذا السمك الأثر البالغ في تحديد مقاومة وصلة اللحام. يتم الحصول على أعلى مقاومة عندما يكون هناك فسخة كافية لانسياب سبيكة التبريص خلال وصلة اللحام عندما تسخن بحيث يسمح للمادة المصهورة والغازات من الخروج خارج الوصلة. ان مقدار السماح المثالي للشغل الانتاجي يتراوح بين 0.05 الى 0.127mm (20.00 الى 50.00 in). يجب تجنب سماح الوصلات الاقل من 0.025mm (0.001in) والاعلى من 0.203mm (0.008in)، هذا ان امكن استخدام مثل هذه السماحات عمليا. عند تحديد مقدار السماح فان التمدد الحراري للاجزاء يجب ان يؤخذ بعين الاعتبار ومن ثم استخدام سماح كاف بحيث انه عند درجات حرارة التبريص سيكون هناك مجالا كافيا لسبيكة التبريص من الدخول بين اجزاء وصلة اللحام.

## 11- 12- 5 المواد المصهورة للتبريص Brazing Fluxes:-

المادة المصهورة هي عامل كيميائي (Chemical agent) والتي اذا اختيرت واستخدمت بشكل مناسب للحالة المعينة سوف تساعد في عملية التبريص باساليب ثلاثة:-

1- سوف تغطي سطوح وصلة اللحام لحمايتها من التاكسد في الجو عند التسخين.

2- سوف تذيب اية اكاسيد متكونة على سطوح الاجزاء المعدنية المراد تبريصها.

3- سوف تخفض من الشد السطحي (Surface Tension) للسبيكة المذابة للسماح لها بالانسياب بحرية اكثر الى السطوح البينية لوصلة اللحام.

من الضروري معرفة ان المواد المصهورة هي ليست نوع من المنظفات. وفي بعض الاحيان يعمل سائل المادة المصهورة الفعال لتكوين وصلة لحام جيدة مع السطوح الوسخة ايضا، لكن المواد المصهورة ليست مصممة لازالة الزيت او الشحم او الكربون او الصبغ وانواع عديدة من الاوساخ. ان وجود الاكاسيد او الاوساخ على سطوح

الاجزاء المراد لحامها قبل وضع المادة الصهورة سوف يزيد من احتمالية الحصول على وصلة لحام رديئة.

تعتبر مادة البوراكس ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) من اقدم المواد الصهورة القياسية وهي موجودة بشكلين. فالبوراكس الاعتيادي يكون بطور بلوري (Crystalline) ويحتوي على مقدار معين من الرطوبة على شكل ماء تبلور. فعند تسليط الحرارة عليه ينتفخ ويكون على شكل لفائف بحيث انها تعطي حماية، والى حد ما، لوصلة اللحام بالتبريص. ويمكن تفادي هذه المشكلة عند استخدام الطور اللابلوري (Amorphous) او البوراكس النقي عند ذوبانه بصورة هادئة. وتنحصر فائده باسلوبين:-

1- بما انه يذوب عند حوالي  $1400^\circ\text{F}$  ( $760^\circ\text{C}$ ) لذلك فهو ذو فائدة فقط مع معادن الحشو عالية درجة الانصهار.

2- لا يذيب اكاسيد معظم عناصر السبك، على سبيل المثال، الكروم والمولبدنوم والسليكون والتنكستن لذلك فهو يفيد فقط مع الفولاذ الاعتيادي والبراص والبرونزيات.

ان اغلب المواد الصهورة الخاصة بالتبريص هي خليط من عدة مركبات للحصول على درجة حرارة انصهار اقل من انصهار البوراكس (Borax) واكثر قابلية على اذابة الاكاسيد.

يُحدد نوع المادة الصهورة اللازمة بحيث انها تلائم المعدن الاساس اكثر مما تلائم معدن الحشو. تتوفر بصورة عامة مساحيق مواد صهورة لكنها لا تكون بتلك المرونة التي تتمتع بها المواد الصهورة المعجونية. يمكن ان تستخدم المواد الصهورة المعجونية بطلاء منطقة اللحام بها بوساطة فرشاة قبل التسخين ومن ثم تعطي بعض الحماية خلال عملية التسخين. كما ان المشعل الغازي قد ينفخ المسحوق الجاف ليعده عن منطقة اللحام ما لم تسخن السطوح مسبقا الى الدرجة التي يتبدىء المسحوق بالانصهار ومن ثم يلتصق على المنطقة المطلوبة. وغالبا ما يسخن قضيب او شريط معدن الحشو بحيث ان المسحوق يلتصق عندما يغمر القضيب في حاوية مسحوق المادة الصهورة.

## 11- 12- 6 طرائق حشو التبريص:-

تصنف معادن حشو التبريص الى سبعة تصانيف حسب ما هو شائع وهي:-  
الفضة والنحاس خارصين والنحاس فسفور والالمنيوم سليكون والنحاس ذهب  
والمغنيسيوم. ويتم انتاج هذه السبائك بأشكال مختلفة كالاسلاك والقضبان المطلية  
والمساحيق. وكثيرا ما يعاد تشكيل سبائك التبريص بشكل حلقات او اشكال خاصة  
لاجل تبسيط وضع مقدار مضبوط منها على وصلة اللحام.  
تختلف درجة الحرارة التي يمكن استخدام الاجزاء المبرصه عندها بصورة كبيرة.  
فكثير منها معد للاستخدام عند درجة حرارة الغرفة لكنه قد طوّرت سبائك لوصل  
الفولاذ المقاوم للصدأ بحيث تصلح للاستخدام عند درجة حرارة تصل الى  $1200^{\circ}\text{C}$  ( $2190^{\circ}\text{F}$ ).

## 11- 12- 7 فوائد التبريص ومحدودياته:-

يتلائم التبريص مع تقنيات الانتاج الواسع لوصل كل من المعادن الحديدية و  
اللاحديدية. ومن اهم مزاياه ما ياتي:-

- 1- امكانية وصل (لحم) معادن مختلفة.
- 2- امكانية وصل بعض الاجزاء فعليا لانتاج مجموعة خالية الاجهادات.
- 3- يمكن وصل المجاميع المعقدة بخطوات متعددة باستخدام معادن حشو مختلفة  
وعند درجات حرارية متعاقبة الانخفاض.
- 4- يمكن وصل مواد مختلفة السماكات بسهولة.
- 5- قد تحتاج وصلات التبريص الى إنهاء (Finishing) وقد لا تحتاج إلا الى ازالة  
المادة الصهورة فقط.

### المحددات:-

- 1- يكون تصميم وصلة اللحام محددا اذا كانت المقاومة (Strength) هي احدى العوامل (الخواص) المطلوبة او الحاسمة.
- 2- عملية الوصل، بصورة عامة، محدودة بسمك الصفائح المعدنية والمجاميع الصغيرة نسبيا.
- 3- قد تكون كلفة التحضير للوصلة عالية.

### 11- 13 لحام المونة Brazing Welding :-

لحام المونة يشبه التبريص (Brazing) في ان المعدن الاساس لا يذاب بل يوصل بوساطة سبيكة ذات نقطة انصهار واطنة نسبيا والفرق الاساس هو ان في لحام المونة لا تنساب سبيكة اللحام او تنسحب الى ثانيا وصلة اللحام بفعل الخاصية الشعرية. يتم تحضير وصلة لحام المونة بصورة مشابهة جدا الى التحضير لعملية اللحام (Welding) عدا انه يجب الإنتباه لتجنب الزوايا الحادة والتي قد تصل الى درجة الافراط في التسخين بسهولة، ويمكن ان تكون مناطق لتركيز الاجهادات ايضا. يستخدم لحام المونة بصورة واسعة لاعمال التصليح وبعض عمليات التصنيع لبعض المعادن مثل حديد الزهر (Cast iron) وحديد الزهر الطروق والحديد المشكل والفولاذ. وكذلك تستخدم الى مدى اقل في لحام النحاس والنيكل وسبائك البراص ذات درجات الانصهار العالية نسبيا.

### 11- 14 اللحام الاحتكاكي Friction Welding

اذا احتك جزئين مع بعضهما بشدة وتحت ضغط تماس عال فالوجه المتماسمة يمكن ان تسخن الى درجة حرارة عالية تكفي للسماح لهما بالالتحام مع بعضهما. وبسط مثال هو الذي يتضمن دوران نهايتي قضيين دائريين حول محورهما وباتجاه معاكس عندما يُضغطان على بعضهما. فعندما تتولد حرارة عالية ووافية، يتم ايقاف الدوران (اللف) ثم يضغظ القضيبان الى بعضهما لاجراج الاكاسيد غير المرغوبة من منطقة اللحام بالعصر



خارج منطقة اللحام ومن ثم ضمان لحام تام. وقد صنعت مكائن خاصة لتنفيذ هذا النوع من اللحام وهي تشبه الى حد ما المخرطة (Lathe Machine) وتسمى مكائن اللحام الاحتكاكي (Friction Welding Machines). يمكن استخدام هذه الطريقة للحام المواد غير المتشابهة والتي يصعب لحامها بتقنية اللحام الكهربائي او الغازي.

ومع ان هذه الطريقة محدودة المجال لكنها توفر مميزات حقيقية كثيرة. فتكون المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) (Heat Affected Zone) ضيقة ولا تكون بنيتها كبنية المسبوكة، ولذا تكون ذات خواص ممتازة. وفي هذه الطريقة لا يلزم معدن حشو ولا مادة صهورة ولا غاز تغليف (حماية) كما تتم العملية بسرعة وباقل متطلبات طاقة. بيد انه يتكون معدن فائض عند منطقة اللحام تلزم ازالته فيما بعد.

وفي الوقت الحاضر فان هذه التقنية ملائمة للحام النحاس بالدرجة الاساس (اي اكثر من غيره من المعادن) مع سبائك اخرى مثل البراص والالمنيوم والفضة والفولاذ المقاوم للصدأ وبرونزيات الالمنيوم. اما وصل النحاس بالنحاس بهذه الطريقة فلم يتحقق النجاح المرجو منه.

## 15-11 لحام النقطة Spot Welding

من بين كل المعادن والسبائك المألوفة صناعيا فان النحاس اقلها صلاحية للحام النقطة. نظرا لتوصيلته الحرارية والكهربائية العاليتين جدا. لان لحام النقطة الجيد يلزم مقاومة (Resistance) نحاس عالية بين السطحين المتراكبين. لهذا فان القشرة (الطبقة الرقيقة من الاوكسيد الموجودة على سطح النحاس) تميل لتحسين لحامية النحاس ولكن تكرارية اللحام تكون رديئة ولذا يصار الى تنظيف النحاس عادة كيميائيا او ميكانيكيا قبل عملية لحام النقطة. يقتصر لحام النقطة عادة على لحام الصفائح النحاسية الرقيقة نسبيا فقط.



## 11 - 16 لحام الحزمة الالكترونية Electron Beam Welding

يمكن إستخدام هذه التقنية لوصل عدد من انواع النحاس وسبائكه. وعند استخدام لحام الحزمة الالكترونية يتم الحصول على وصلات لحام تامة خالية من المسامات. يبين الجدول (10-11) ظروف لحام الصفائح لكل من نوعي النحاس وهما النحاس الخالي من الاوكسجين (Oxygen Free Copper) (OFC) والذي يحتوي على 99.95 % من النحاس او اعلى من ذلك اضافة الى النحاس المختزل أو النحاس النقي المتين (Tough Pitch Copper) والذي قد يحتوي على بعض الاكسجين او العامل المختزل (Deoxidizer). اما للمعادن السميكة، فيبين الشكلان (8-11) و (9-11) مقدار تغلغل الحزمة الالكترونية مع تغير سرعة اللحام وتبثر الحزمة وطاقاتها. حيث أن النماذج التي تم أخذها كانت ذات سمك (1/2 in) ومن نوع النحاس الخالي من الأوكسجين.

ان هذه التقنية تستخدم ايضا للحام بعض سبائك برونزيات الالمنيوم والى حد (1/4 in).

## جدول (10-11)

الظروف النموذجية للحام صفائح النحاس بتقنية الحزمة الالكترونية.

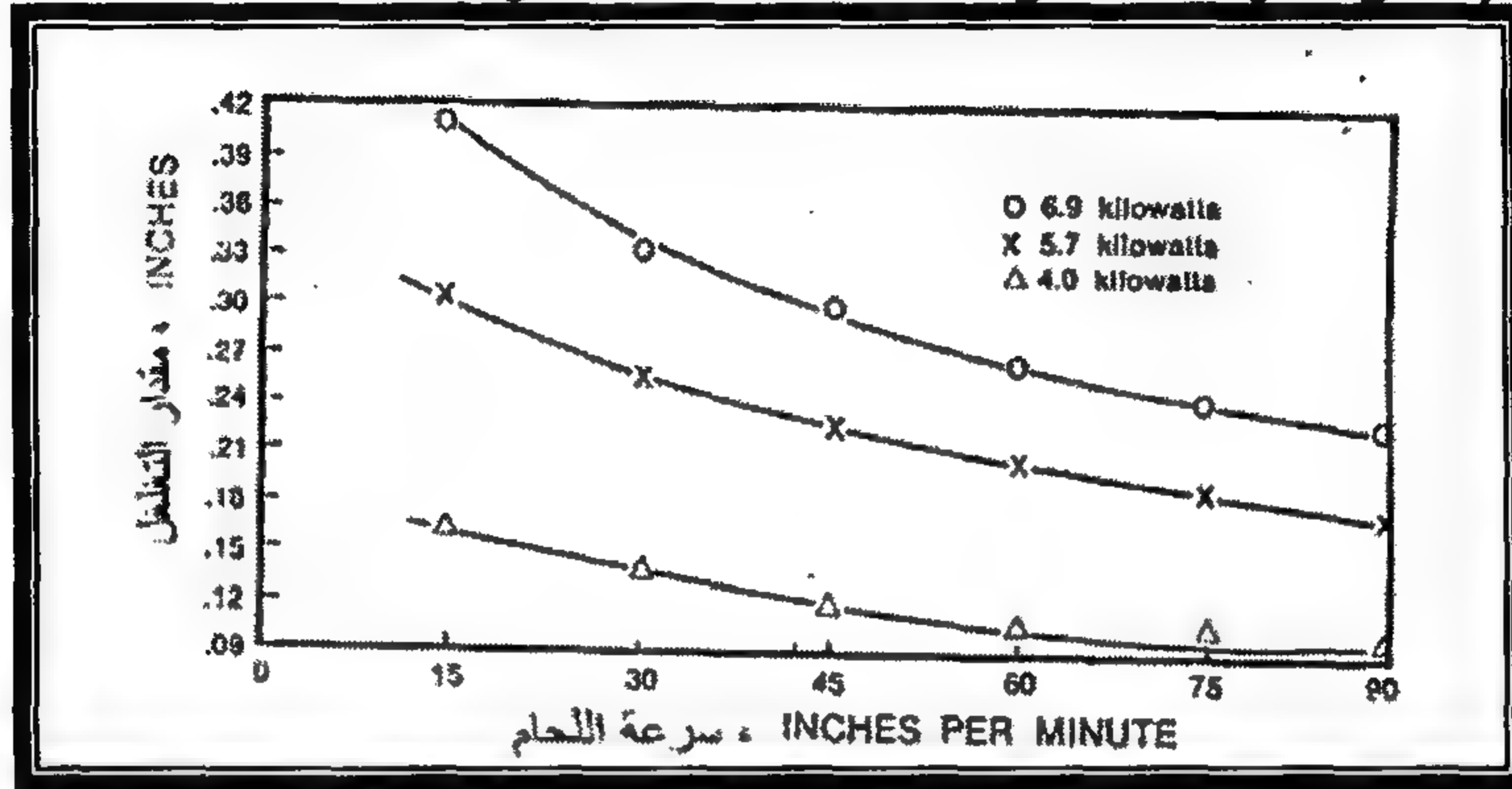
صنف السبيكة	السمك (In)	تيار الحزمة (mA)	فولتية الحزمة (kV)	سرعة اللحام in/min
لحاس خالي من الاوكسجين	0.02	30	13	8.8
لحاس نقي متين ومختزل	0.03	30-40	12.5	7.2

## 11 - 17 اللحام الانتشاري Diffusion Welding

يستخدم اللحام الانتشاري او لحام الحالة الصلبة للحصول على وصلات لحام قوية ومتينة وذات توصيلية جيدة من تراكيب النحاس. وقد ذكر ان ظروف لحام الضغط الغازي ودرجة الحرارة الملائمة هي 5000 psi وعند 1000 °F ولمدة 15 min على سبيل المثال. اذن فأساس العملية هو جعل السطحين المستويين المراد لحامهما على تماس مع

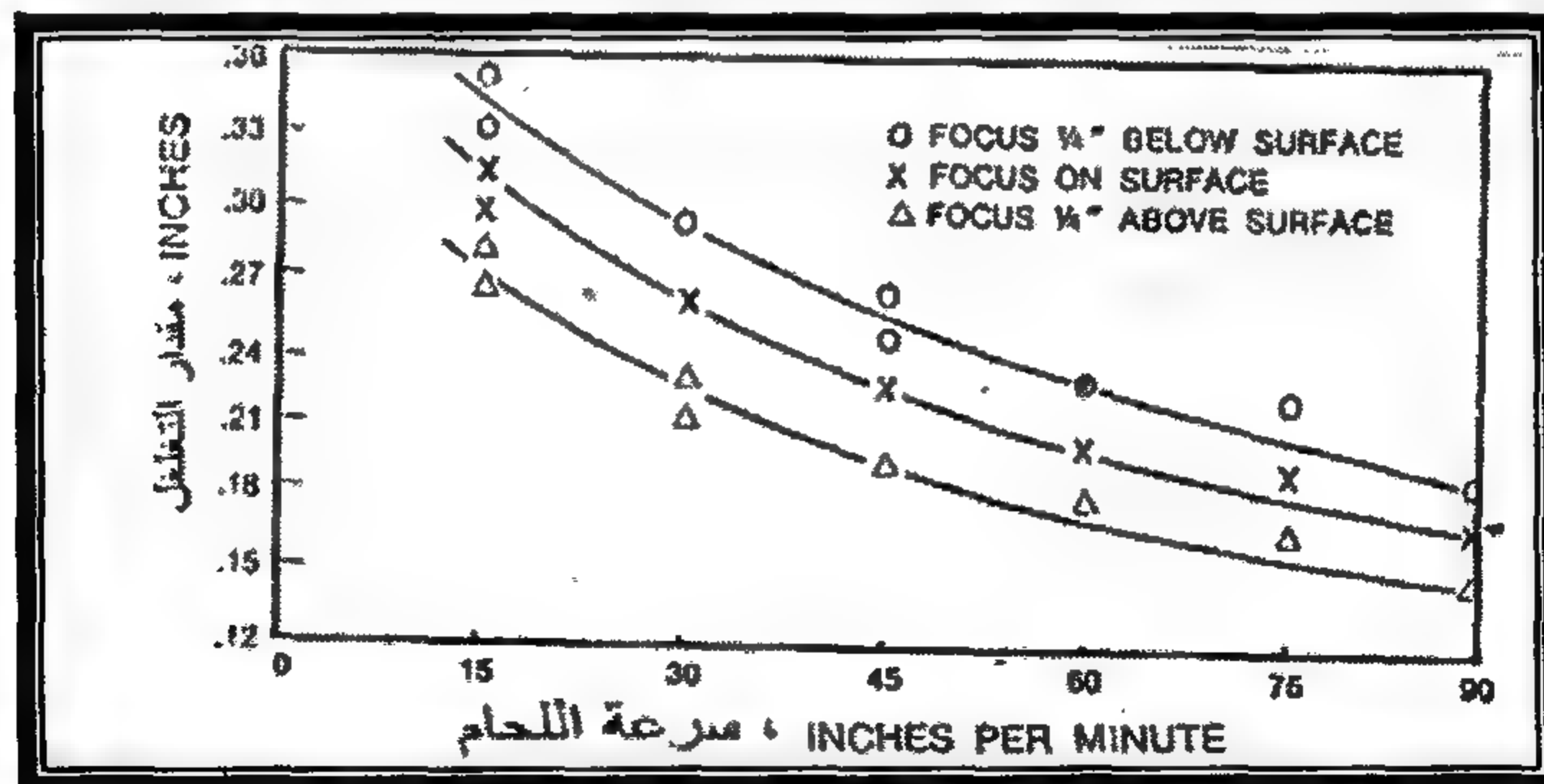
بعضهما مع تسليط ضغط مناسب عليهما وعند درجة حرارة مناسبة، اي اقل من درجة انصهار اي منهما. ومن المفضل ان تُجرى العملية في جو (محيط) خامل كغاز الاركون، على سبيل المثال.

وقد تم الحصول على نتائج جيدة عند لحام النحاس مع النحاس ومع النيكل والالمنيوم والبراص وغير ذلك من المعادن الملائمة الاخرى.



الشكل (8-11)

تغير مقدار تغلغل الحزمة الالكترونية مع سرعة اللحام للنحاس الخالي من الاوكسجين وعند ثلاث مستويات قدره (power) وفولتية 27 kV.



الشكل (9-11)

مقدار تغلغل الحزمة الالكترونية مع سرعة اللحام للنحاس الخالي من الاوكسجين ولمستويات تبثير ثلاثة عند فولتية 27kV وتيار حزمه 210mA.

## **الفصل الثاني عشر**

### **خواص النحاس وسبائكه**

Properties of Copper and its Alloys



## الفصل الثاني عشر

### خواص النحاس وسبائكه

#### Properties of Copper and its Alloys

12- 1 المقدمة :

لغرض التعرف على الخواص الميكانيكية وبعض الخواص الاخرى للنحاس وعدد من سبائكه وعند ظروف مختلفة أدرج العديد من المنحنيات في هذا الفصل والتي تبين تغير الخواص مع نسب مختلفة من التشكيل سواءً اجري بعمليات الدرفلة او السحب إضافة الى التغير الحاصل اثناء التلدين وعند درجات حرارة وزمن مختلفين ويوضح الجدول ادناه أغلب الخواص التي تم التطرق اليها ورموزها التي استخدمت في المنحنيات.

الرمز	الخاصية	وحدة القياس
$\sigma$	مقاومة الشد tensile strength	$N/mm^2$
$\sigma_y$	مقاومة الخضوع yield strength	$N/mm^2$
$\sigma_{0.5}$ $\sigma_{0.2}$	مقاومة الصمود عند انفعال 20% او 0% proof 0.5 strength at 0.2or 0.5%strain	$N/mm^2$
E	المطيلية Ductility	%
G.S.	المقاس الحبيبي (البلوري) Grain size	$\mu m$ or mm
HB	صلادة برينيل Brinel Hardness	$Kgf/mm^2$
HV	صلادة فيكرز Vickers Hardness	$Kgf/mm^2$



	صلادة روكويل بمقياس (B) Rockwell(B)Hardness	HRB
	صلادة روكويل بمقياس (F) Rockwell(F)Hardness	HRF
$(\Omega.m)^{-1}$ or IACS  $(6.25 \times 10^6)(\Omega.m)^{-1} = 100$ (IACS)%	التوصيلية الكهربائية وهي مقلوب المقاومة Electrical conductivity=1/Resistivity	$\sigma=1/\rho$

## 12-2 خواص النحاس وسبائكه وعلاقتها بدرجة الحرارة والزمن :

تتضمن هذه الفقرة خمسة عشر شكلاً تعرض عدداً من الخواص المهمة للنحاس و سبائكه و تغيرها مع نسبة التشكيل و درجة حرارة التلدين و غيرها. فالشكل (1-12) يبين تغير مقاومة الشد و المطيلية مع نسبة التشكيل على البارد للنحاس النقي.

أما الشكل (2-12) فيعرض تغير مقاومة الشد و المطيلية و التوصيلية الكهربائية للنحاس عالي التوصيلية (E-Cu) مع درجة حرارة التلدين و الزمن. كما يبين الشكل (3-12) تغير خواص سبيكة البراص كالصلادة و مقاومة الشد و المطيلية و الكثافة مع نسبة التشكيل البارد و ظروف تلدين مختلفة و لنسب خالصين متغيرة.

و يوضح الشكل (4-12) تغير بعض الخواص الميكانيكية كالصلادة و إجهاد الخضوع و مقاومة الشد و إجهاد الصمود و المطيلية للبراص (37-63) مع نسبة التشكيل البارد.

ويظهر الشكل (5-12) تغير بعض الخواص الميكانيكية كالصلادة و إجهاد الخضوع و مقاومة الشد و المطيلية للبراص (30-70) مع نسبة التشكيل أيضاً.

في حين يبين الشكل (6-12) تغير المقاس الحبيبي (mm) لسبائك البراص المختلفه مع درجه حراره التلدين ولمدة تلدين مقدارها نصف ساعه كما يُظهر جزءا من مخطط التوازن الطوري لنظام ( Cu - Zn ).

اما الشكل (7 - 12) فيتضمن تغير الخواص الميكانيكيه كالصلاده و إجهاد الصمود و مقاومة الشد و المطيلية و نسبة التشكيل الممكنة مع درجه حرارة التلدين و للسبيكة ( Cu Zn38 Pb2 ).

اما الشكل (8-12) فيبين الخواص الميكانيكيه ( الصلاده والمطيلية واجهاد الخضوع و مقاومة الشد ) مع نسبة التشكيل البارد للسبيكة ( Cu Zn38 Pb2 ).

في حين يبين الشكل (9-12) تغير الصلاده والمطيلية واجهاد الخضوع و مقاومة الشد مع نسبة التشكيل البارد للسبيكة نحاس نيكل ( CuNi5 ).

ويعرض الشكل (10-12) الخواص الميكانيكيه (الصلاده ومقاومة الشد والمطيلية ) مع نسبة التشكيل البارد لسبيكة البرونز ( CuSn8 ).

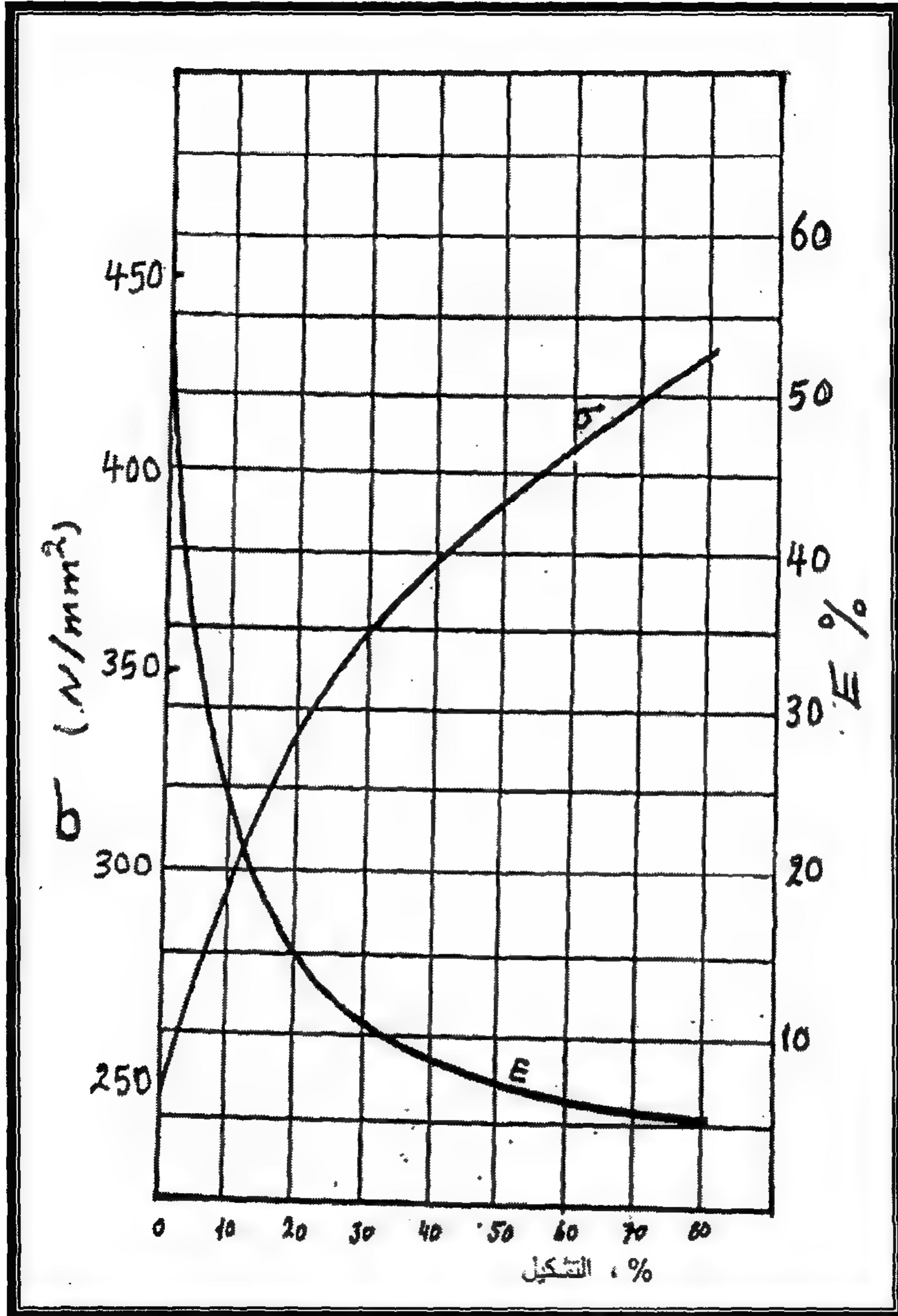
اما الشكل (11-12) فيبين تغير الخواص الميكانيكيه المذكوره في الشكل (10-12) مع نسبة التشكيل ولكن لسبيكة (CuSn6).

اما الشكل (12-12) فيبين تغير مقاومة الشد والصلاده والمطيلية مع نسبة التشكيل البارد للسبيكة (CuNi18Zn20).

وكذلك يبين الشكل (13-12) تغير الخواص الميكانيكيه المذكوره في الشكل (12-12) ولكن للسبيكة (CuNi12Zn24) مع نسبة التشكيل البارد.

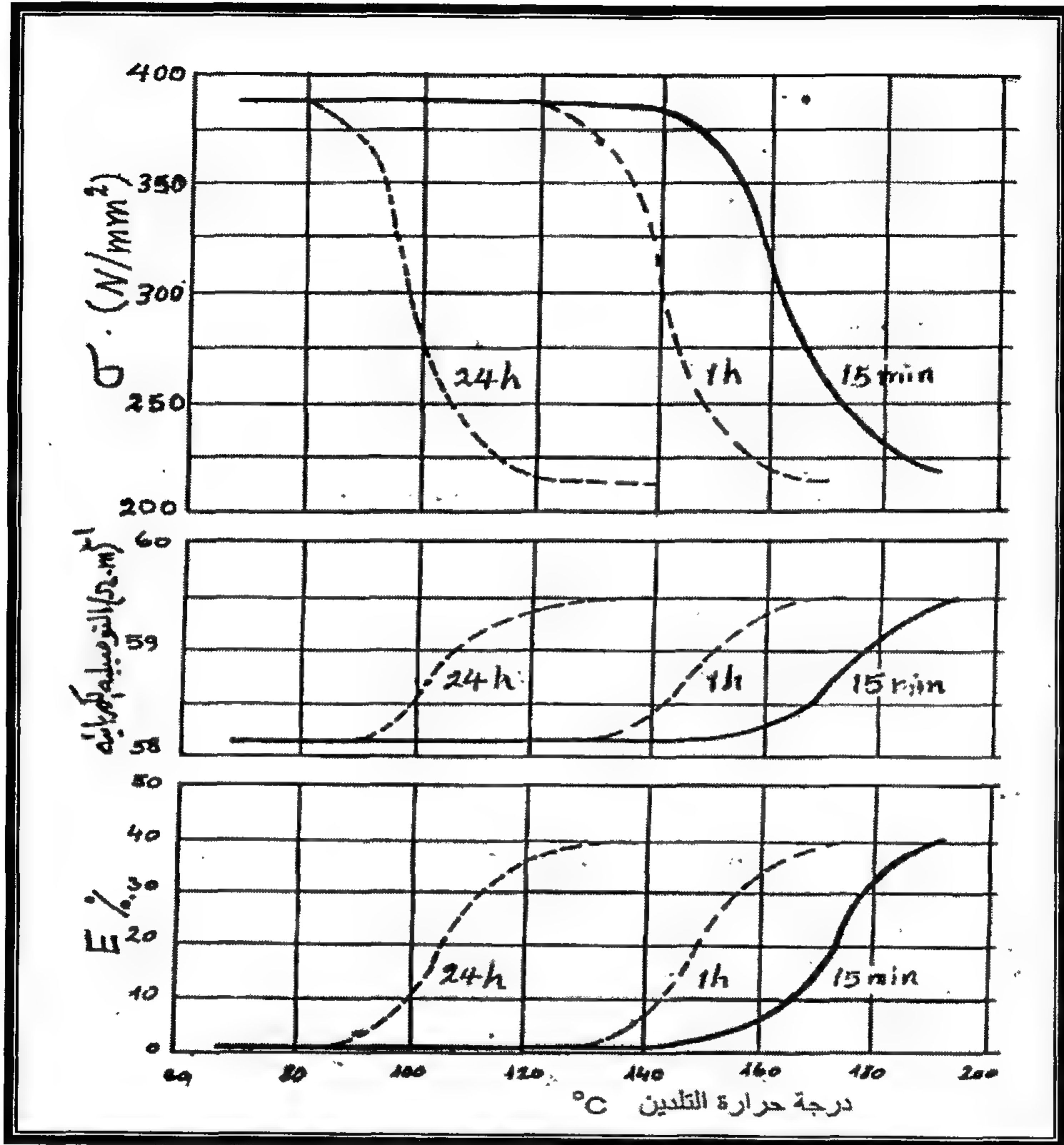
ويعرض الشكل (14-12) تغير الصلاده والمطيلية واجهاد الصمود ومقاومة الشد إضافة الى المقاس الحبيبي مع درجه حرارة التلدين وعند زمن مقداره ساعه واحده للسبيكة (CuZn28Sn1).

وأخيرا يبين الشكل (15-12) تغير مقاومة الشد والمطيلية إضافة الى المقاس الحبيبي مع درجه حراره التلدين وعند زمن ثابت مقداره ساعه واحده للسبيكة (CuZn39.2Sn0.8).



الشكل (1-12)

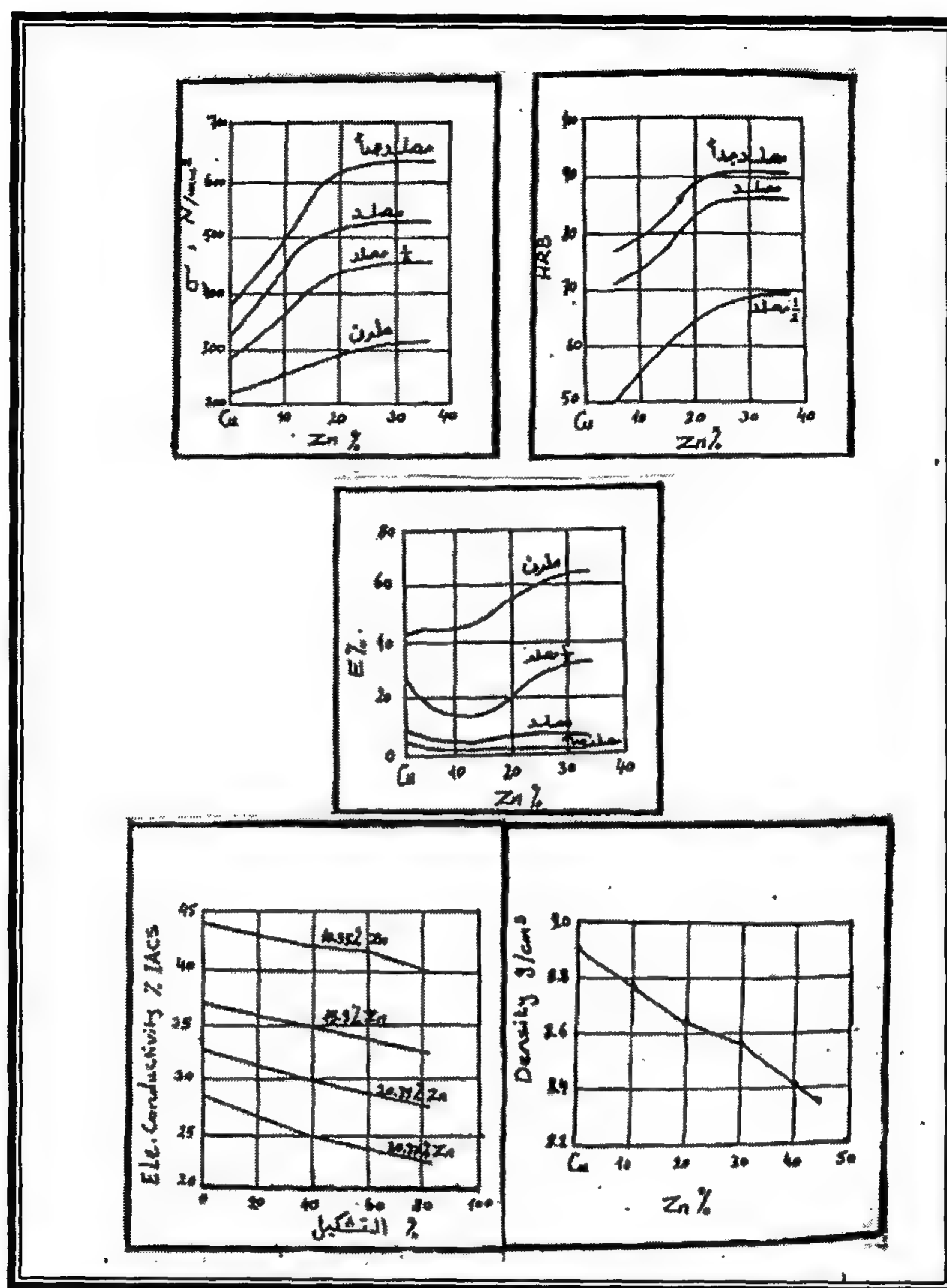
تغير بعض الخواص الميكانيكية للنحاس مع نسبة التشكيل.



الشكل (2-12)

بعض خواص النحاس عالي التوصيلية E-Cu عند معاملته بدرجات حراره وزمن مختلفين.

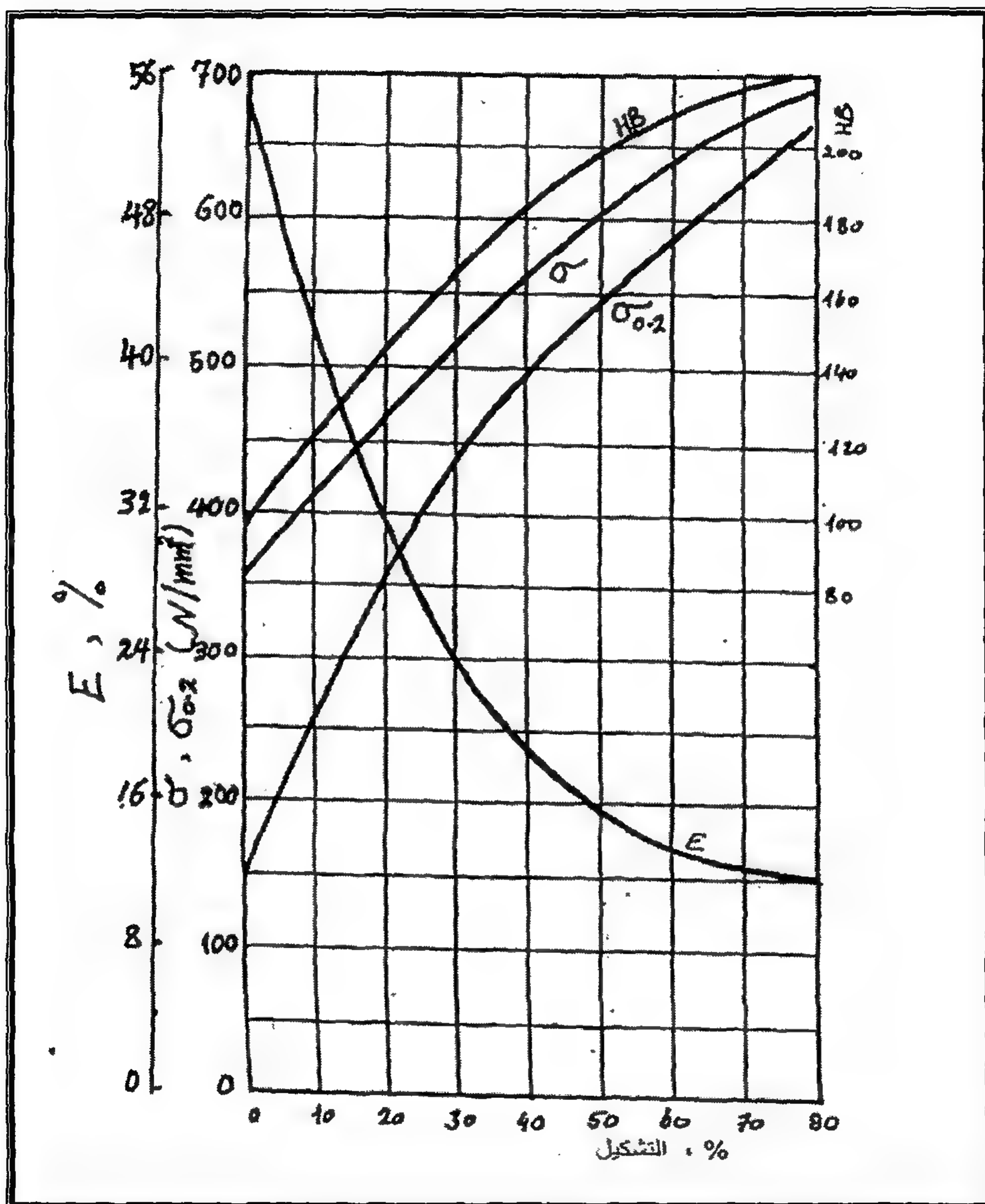




الشكل (3-12)

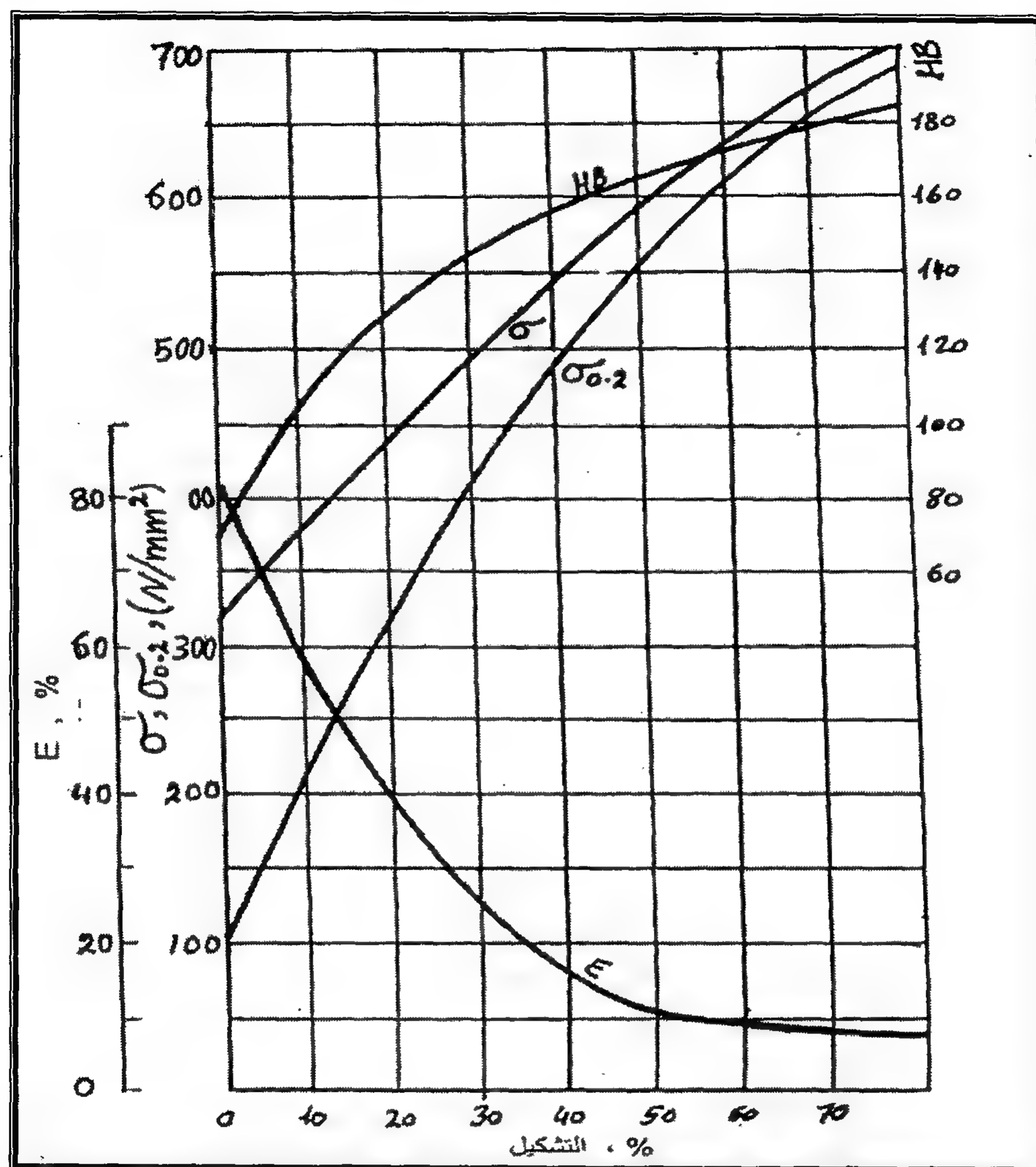
تغير خواص سبيكة البراص المحتوية على نسب مختلفة من الخارصين.





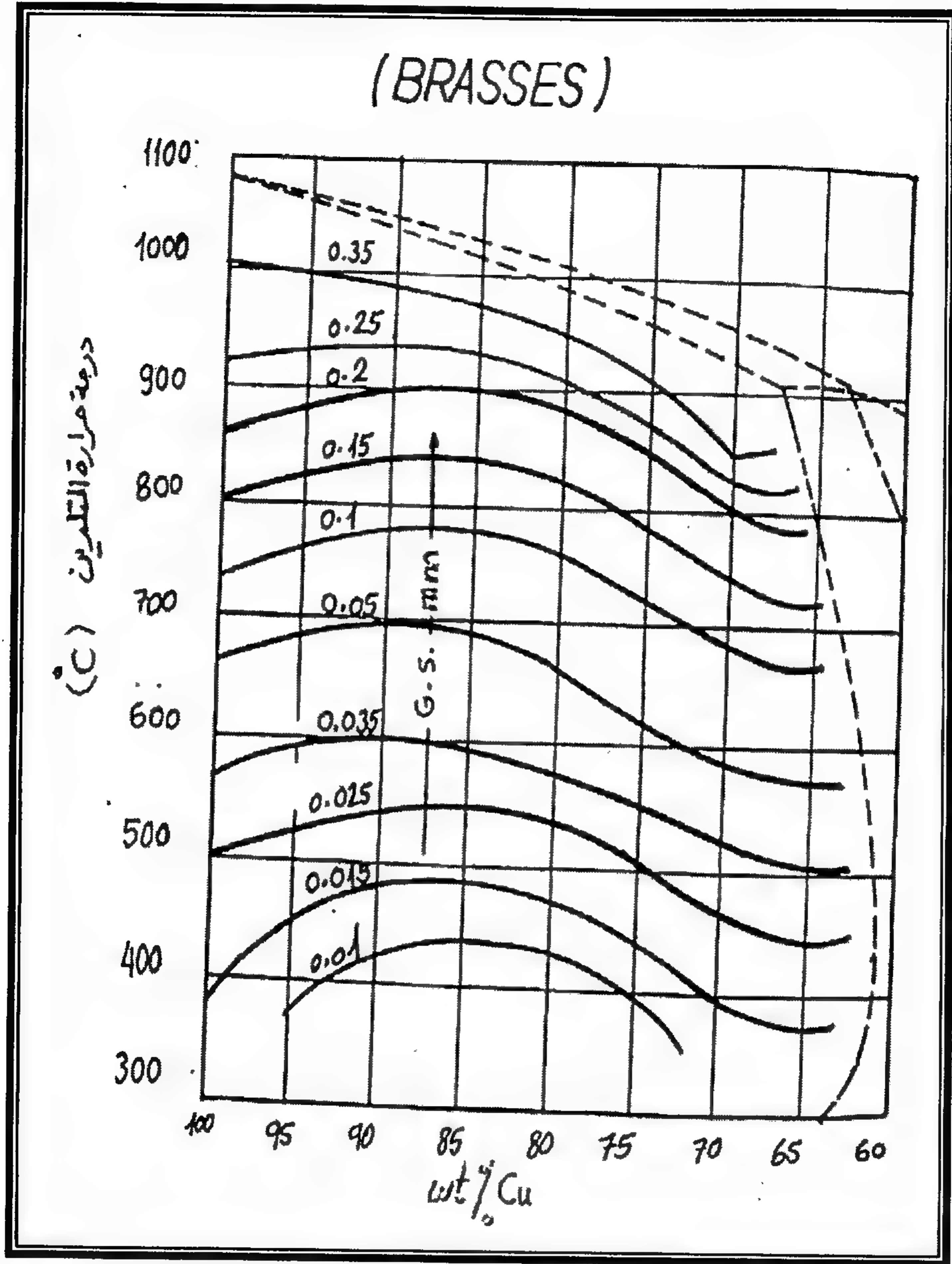
الشكل (4-12)

تغير الخواص الميكانيكية مع التشكيل للبراص 63.



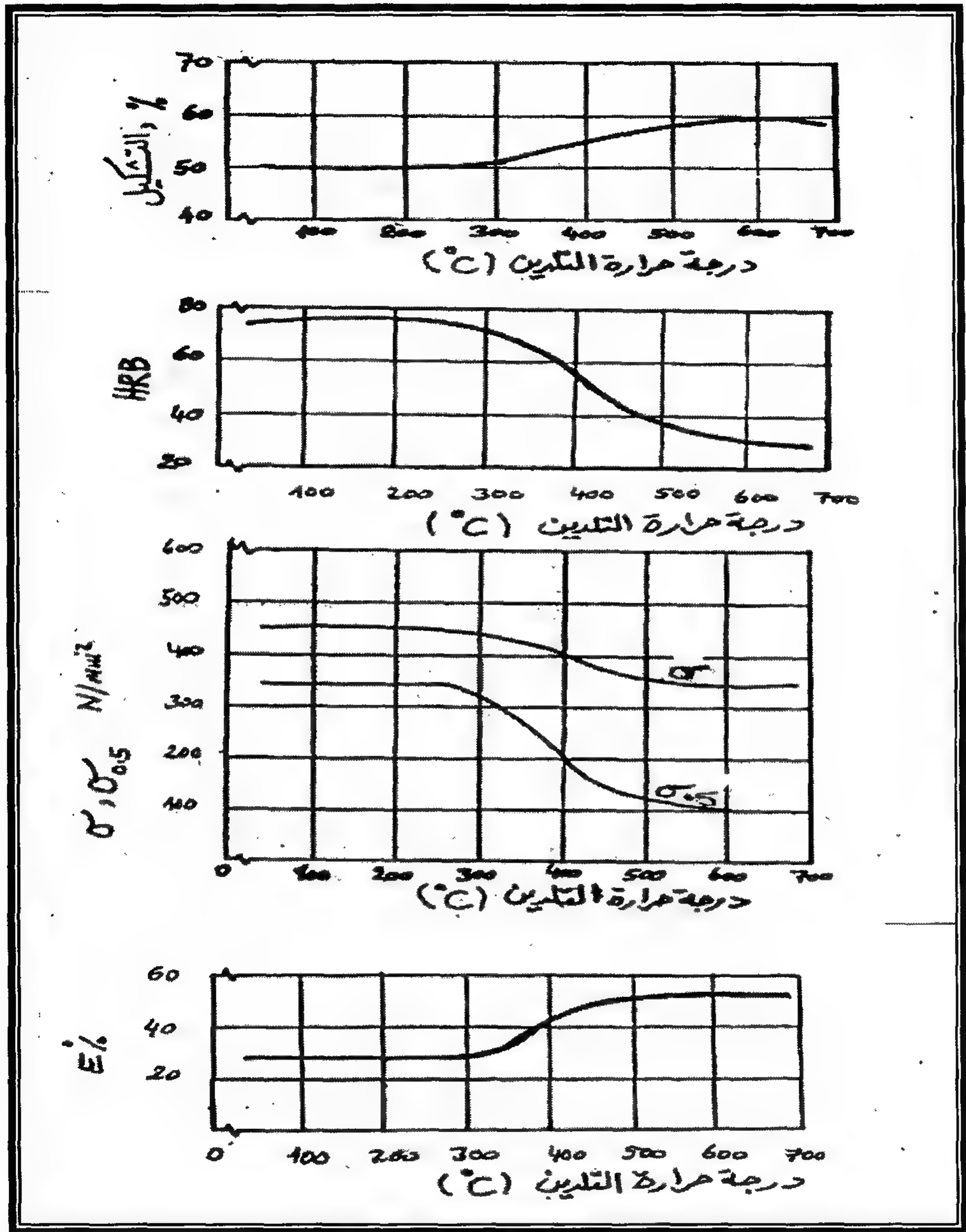
الشكل (5-12)

تغير الخواص الميكانيكية مع التشكيل للبراص 70.



الشكل (6-12)

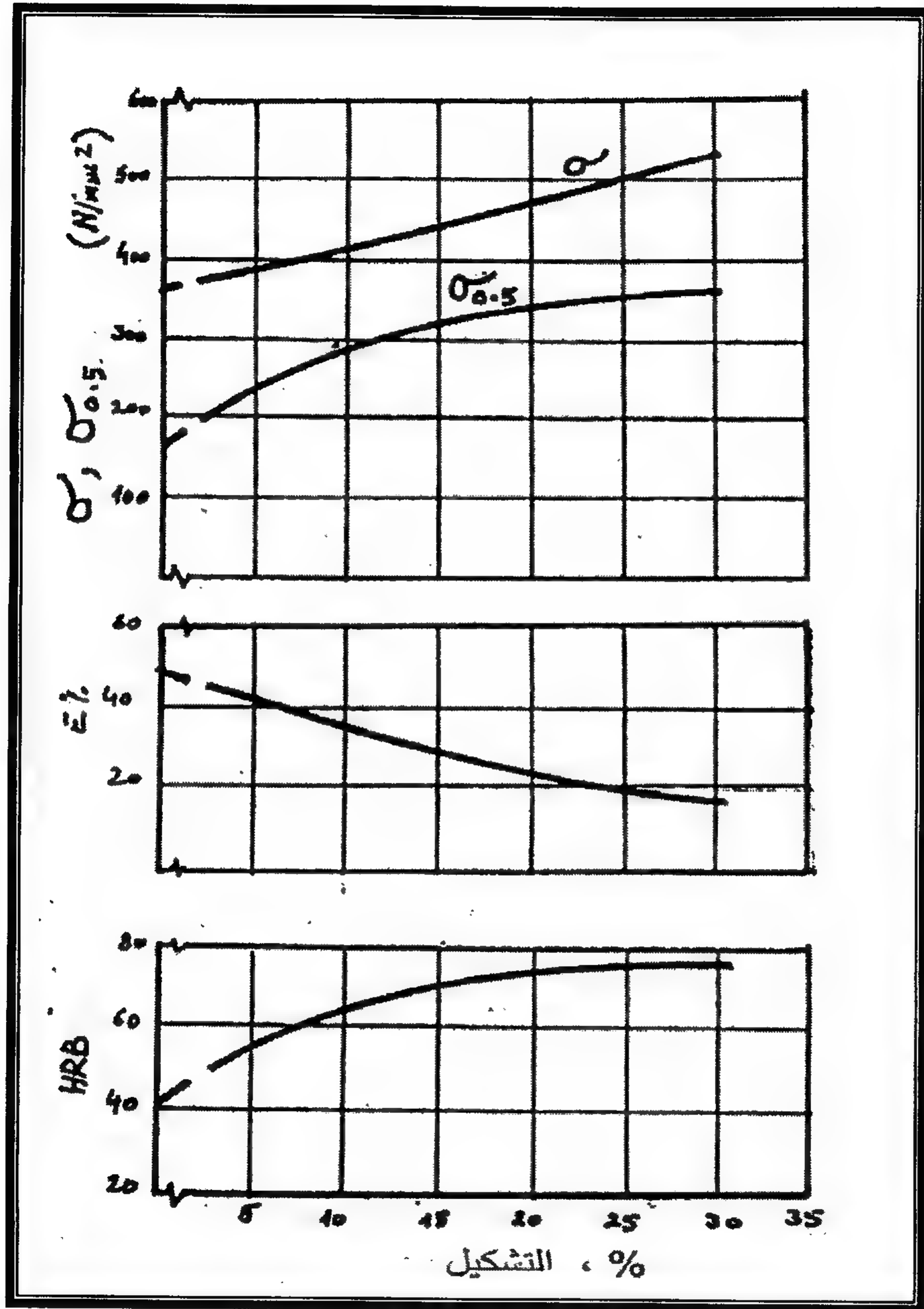
تغير المقاس الحبيبي لسبائك البراص عند درجات حرارة مختلفة ولمدة مقدارها 30 min.



الشكل (7-12)

الخواص الميكانيكية لسبيكة براص رصاص CuZn38Pb2 ملدنة بدرجات حرارة مختلفة  
وبزمن قدره ساعة واحدة.

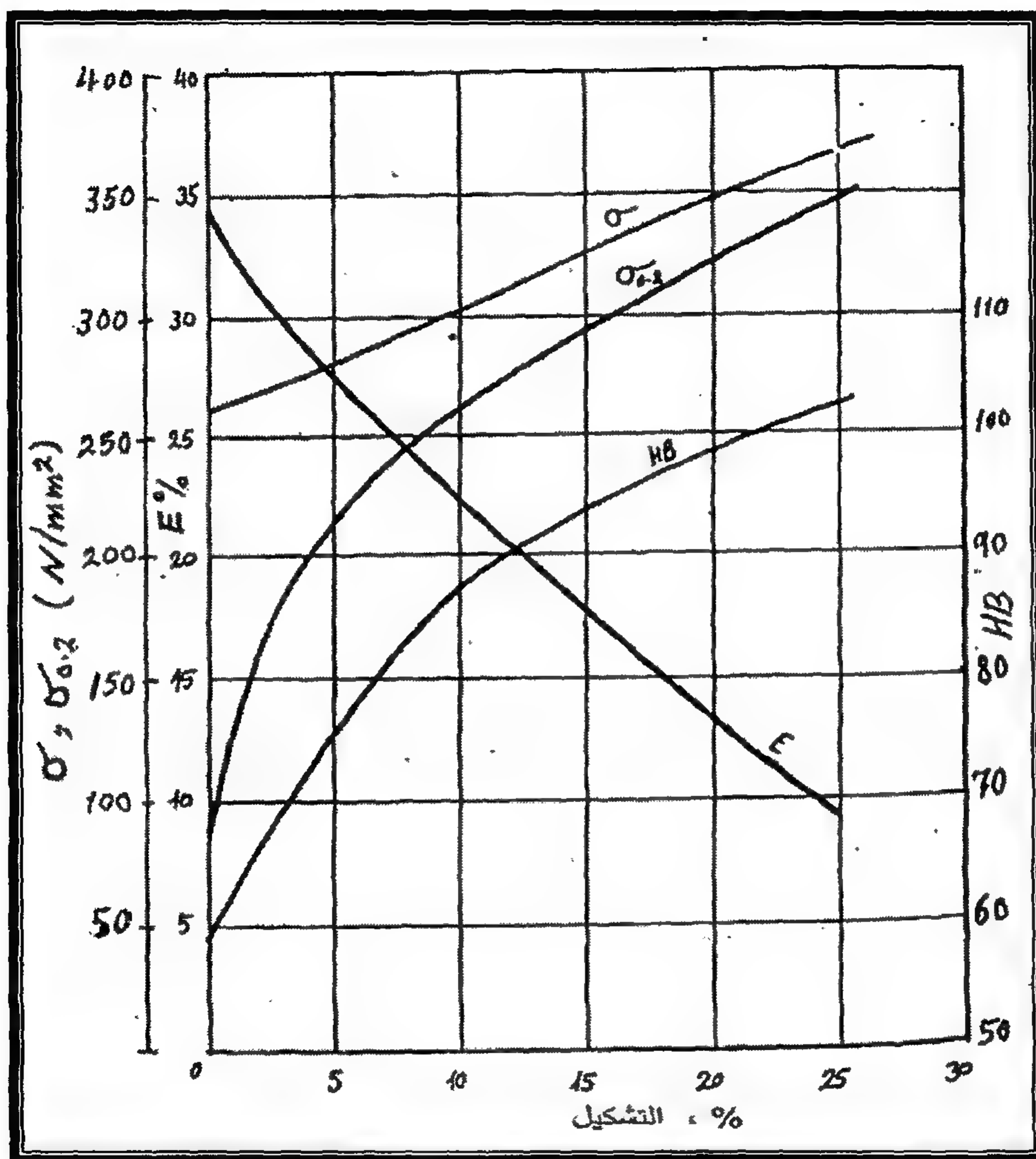




الشكل (8-12)

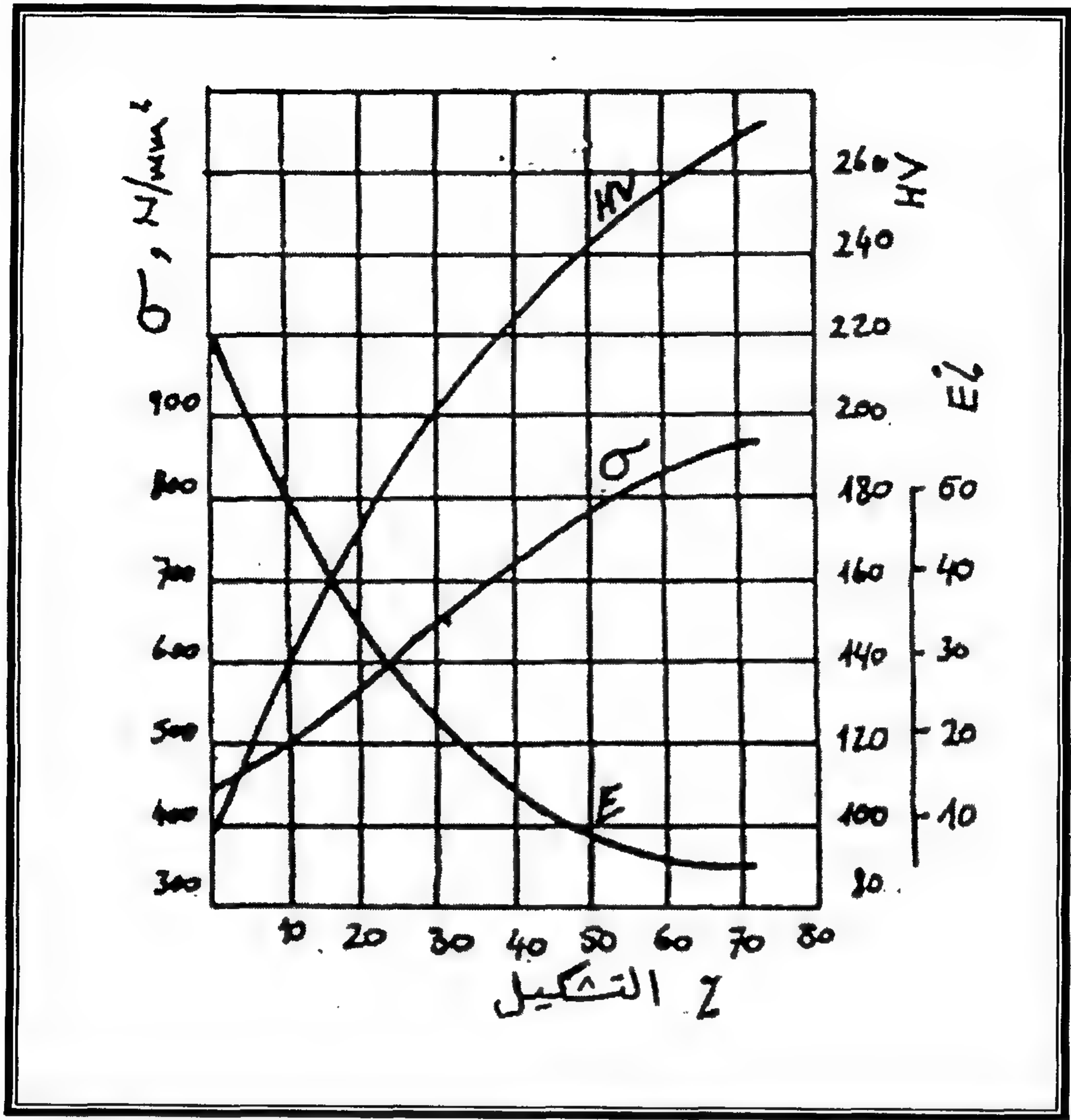
تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuZn38Pb2 مع نسبة التشكيل.





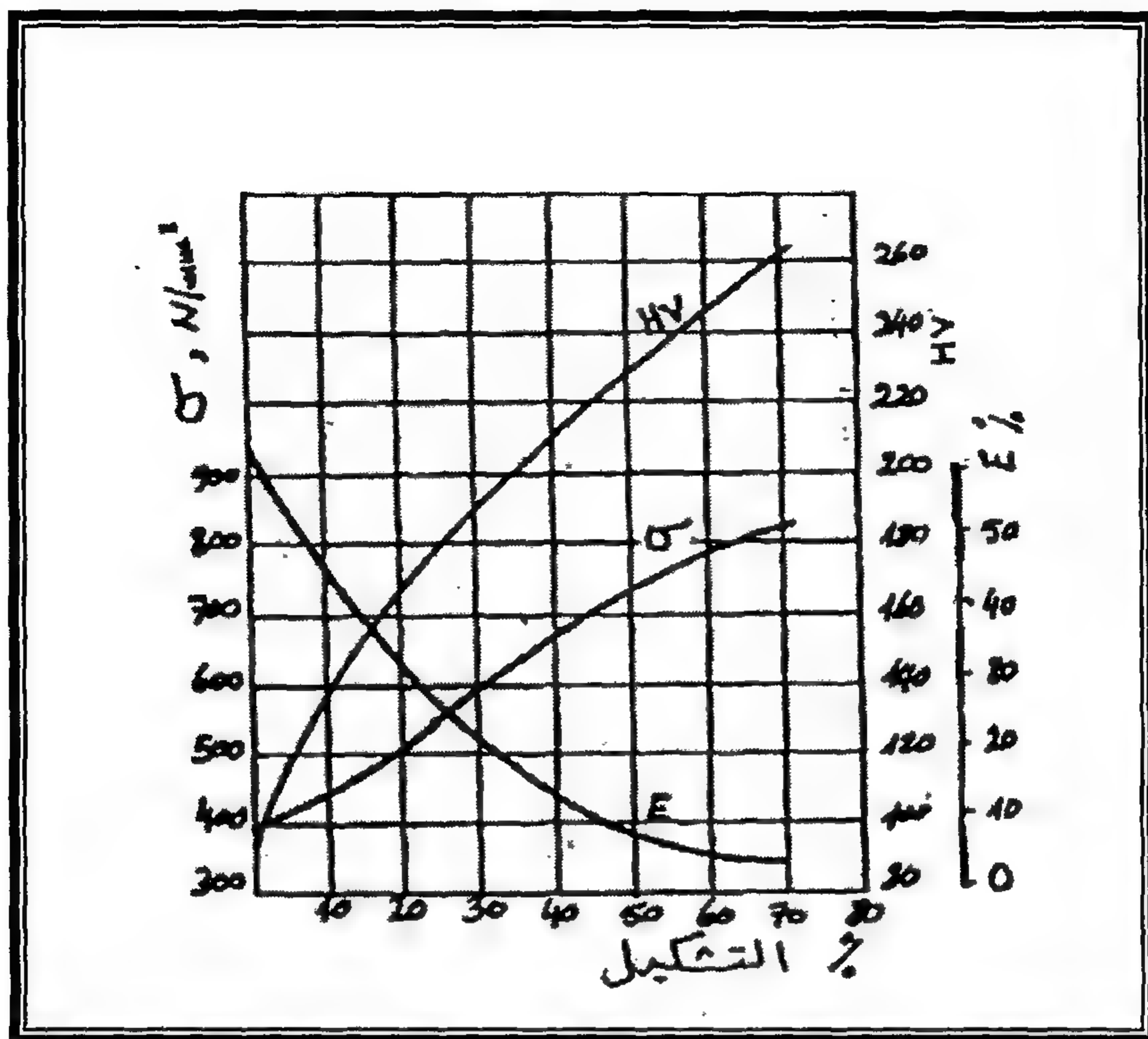
الشكل (9-12)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة نحاس - نيكل CuNi5 مع نسبة التشكيل البارد.



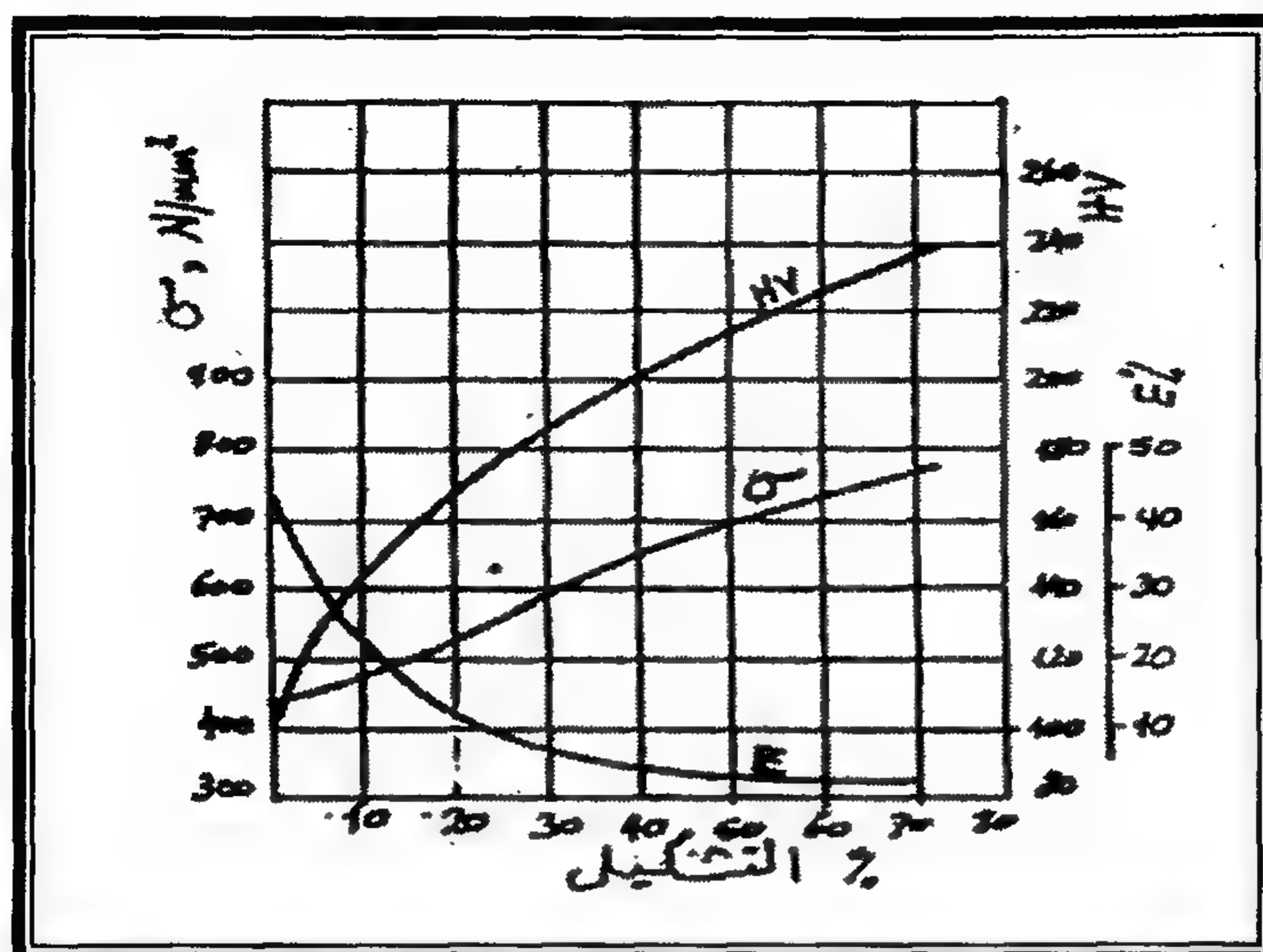
الشكل (10-12)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuSn8 مع نسبة التشكيل.



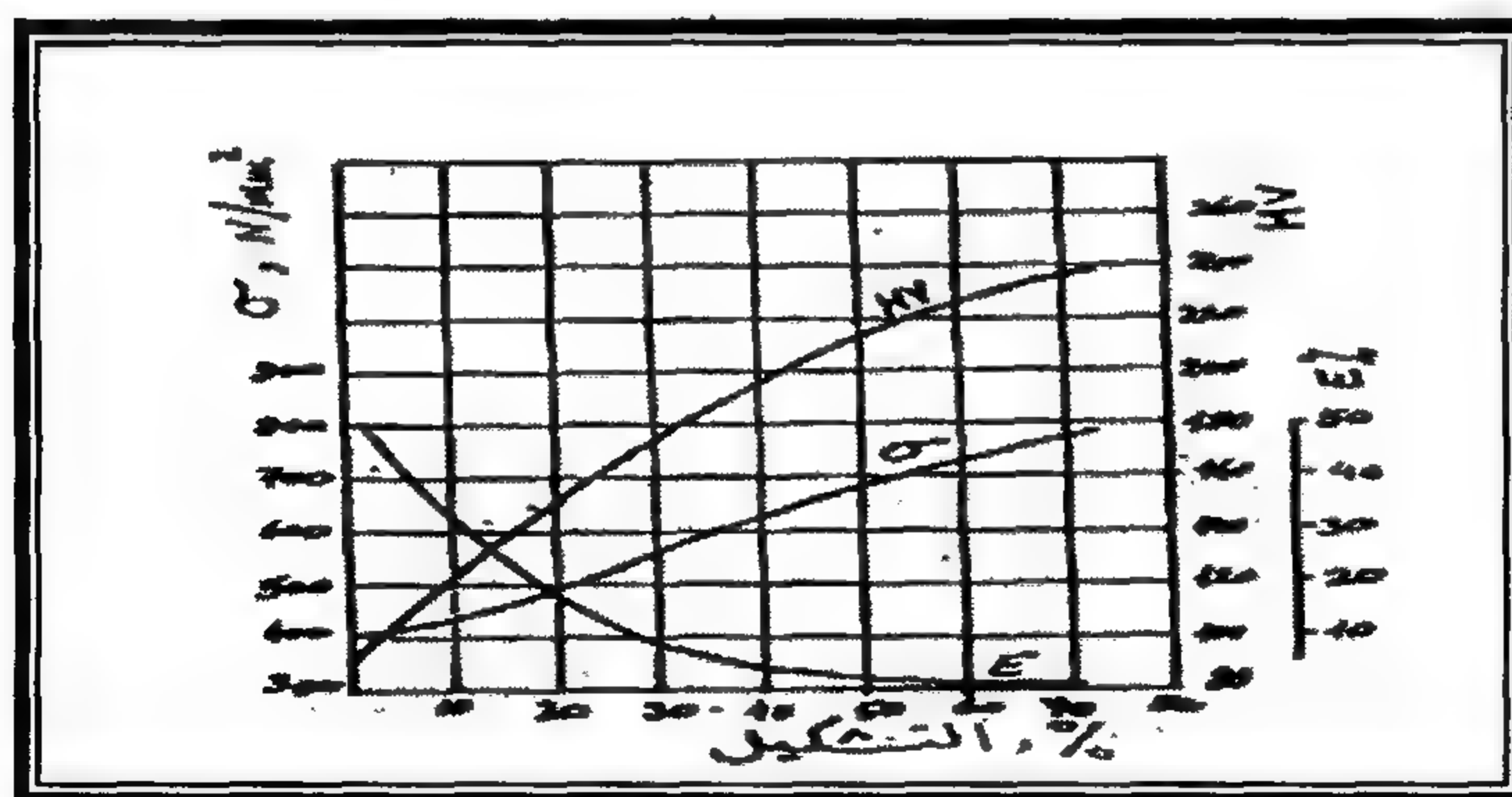
الشكل (11-12)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuSn6 مع نسبة التشكيل.



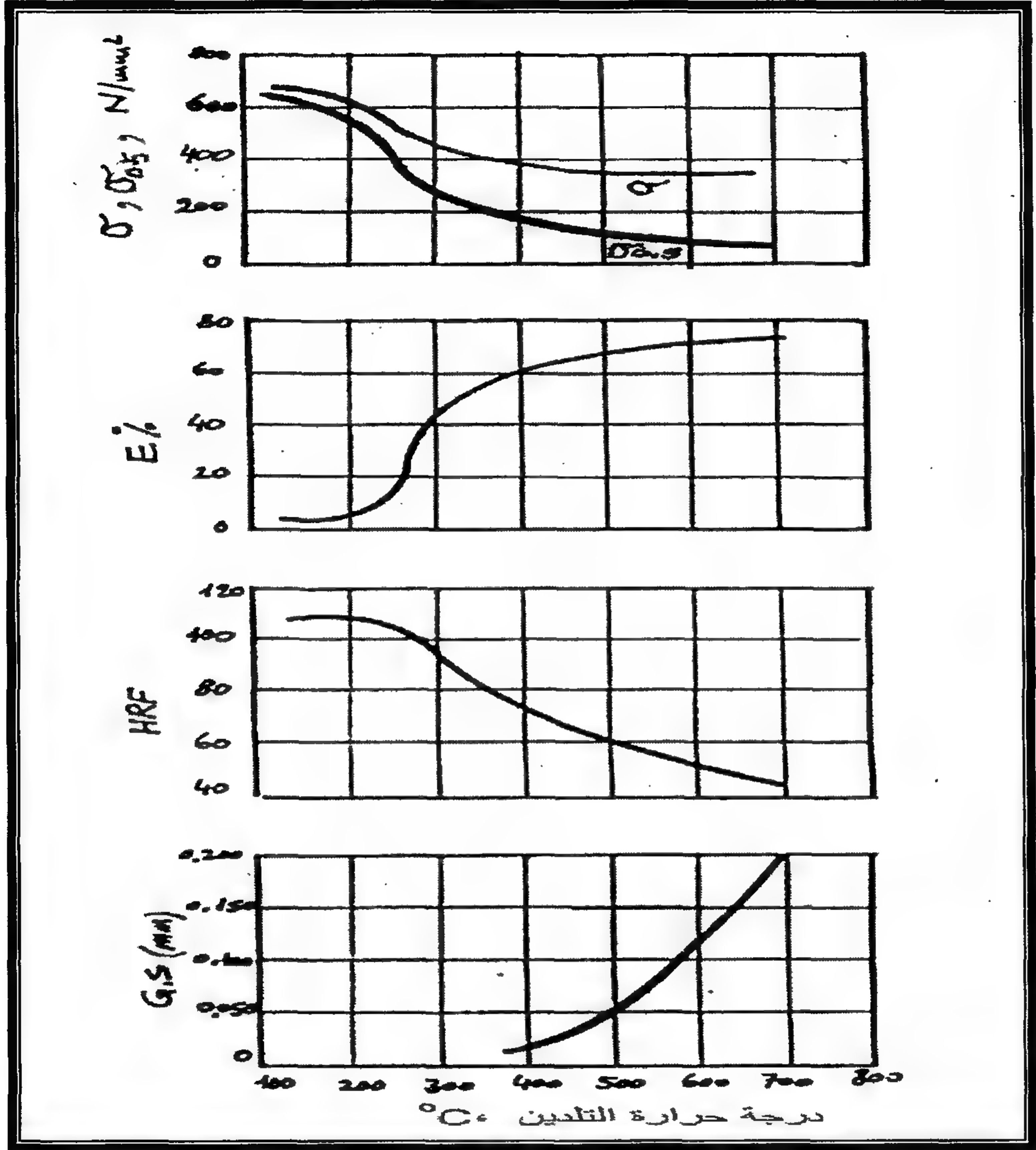
الشكل (12-12)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuNi18Zn20 مع نسبة التشكيل.



الشكل (13-12)

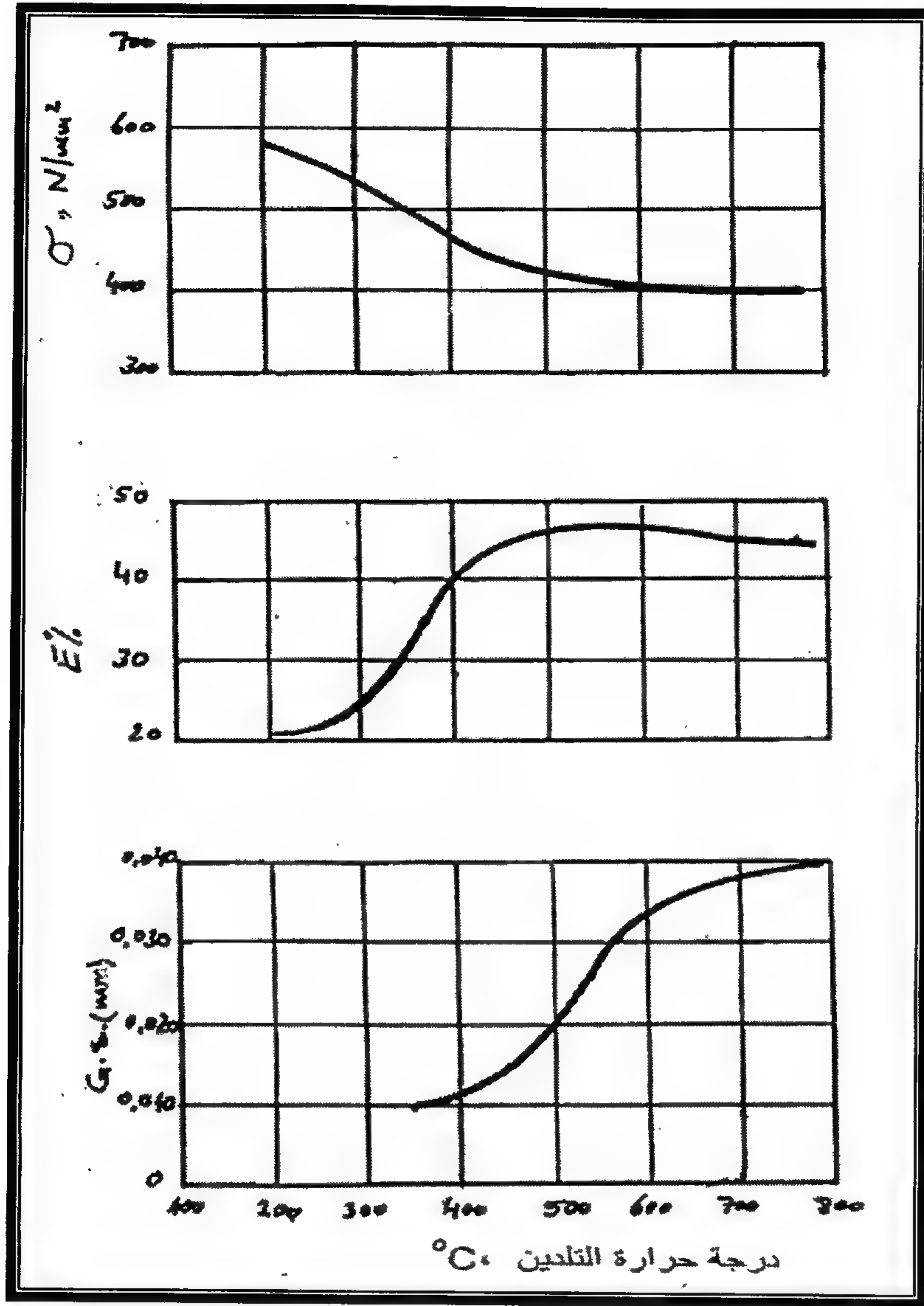
تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuNi12Zn24 مع نسبة التشكيل.



الشكل (14-12)

الخواص الميكانيكية لسبيكة CuZn28Sn1 عند درجات حرارة مختلفة ولزمن قدره ساعة واحدة.





الشكل (15-12)

تغير بعض الخواص الميكانيكية والمقاس البلوري للسبيكة  $CuZn39.2Sn0.8$  عند درجات حرارة تلدين مختلفة ولزمن ثابت قدره ساعة واحدة.



## الملحق

ويتضمن ثلاث جداول الاول يتعلق بتحويل الدرجات الحراريه الفهرنهايتيه الى  
مئويه و الثاني من المئويه الى الفهرنهايتيه و الثالث يتعلق بتحويل الانج الى ملمتر.

### الفهرنهايتية الى المئويه

A : Fahrenheit to Centigrade

	- 8° F.	- 10° F.	- 20° F.	- 30° F.	- 40° F.	- 50° F.	- 60° F.	- 70° F.	- 80° F.	- 90° F.
- 400° F.	- 240.0°C.	- 245.6°C.	- 233.1°C.	- 236.7°C.	- 262.2°C.	- 267.8°C.	- 217.8	- 223.3	- 228.9	- 234.4
- 300° F.	- 184.4	- 190.0	- 195.6	- 201.1	- 206.7	- 212.2	- 217.8	- 223.3	- 228.9	- 234.4
- 200° F.	- 128.9	- 134.4	- 140.0	- 145.6	- 151.1	- 156.7	- 162.2	- 167.8	- 173.3	- 178.9
- 100° F.	- 73.33	- 78.89	- 84.44	- 90.00	- 95.56	- 101.1	- 106.7	- 112.2	- 117.8	- 123.3
0° F.	- 17.78	- 23.33	- 28.89	- 34.44	- 40.00	- 45.56	- 51.11	- 56.67	- 62.22	- 67.78
	0° F.	10° F.	20° F.	30° F.	40° F.	50° F.	60° F.	70° F.	80° F.	90° F.
0° F.	17.78°C.	12.22°C.	6.67°C.	1.11°C.	- 4.44°C.	- 10.00°C.	- 15.56°C.	- 21.11°C.	- 26.67°C.	- 32.22°C.
100° F.	37.78	43.33	48.89	54.44	60.00	65.56	71.11	76.67	82.22	87.78
200° F.	93.33	98.89	104.4	110.0	115.6	121.1	126.7	132.2	137.8	143.3
300° F.	148.9	154.4	160.0	165.6	171.1	176.7	182.2	187.8	193.3	198.9
400° F.	204.4	210.0	215.6	221.1	226.7	232.2	237.8	243.3	248.9	254.4
500° F.	260.0	265.6	271.1	276.7	282.2	287.8	293.3	298.9	304.4	310.0
600° F.	315.6	321.1	326.7	332.2	337.8	343.3	348.9	354.4	360.0	365.6
700° F.	371.1	376.7	382.2	387.8	393.3	398.9	404.4	410.0	415.6	421.1
800° F.	426.7	432.2	437.8	443.3	448.9	454.4	460.0	465.6	471.1	476.7
900° F.	482.2	487.8	493.3	498.9	504.4	510.0	515.6	521.1	526.7	532.2
1000° F.	537.8	543.3	548.9	554.4	560.0	565.6	571.1	576.7	582.2	587.8
1100° F.	593.3	598.9	604.4	610.0	615.6	621.1	626.7	632.2	637.8	643.3
1200° F.	648.9	654.4	660.0	665.6	671.1	676.7	682.2	687.8	693.3	698.9
1300° F.	704.4	710.0	715.6	721.1	726.7	732.2	737.8	743.3	748.9	754.4
1400° F.	760.0	765.6	771.1	776.7	782.2	787.8	793.3	798.9	804.4	810.0
1500° F.	815.6	821.1	826.7	832.2	837.8	843.3	848.9	854.4	860.0	865.6
1600° F.	871.1	876.7	882.2	887.8	893.3	898.9	904.4	910.0	915.6	921.1
1700° F.	926.7	932.2	937.8	943.3	948.9	954.4	960.0	965.6	971.1	976.7
1800° F.	982.2	987.8	993.3	998.9	1004.4	1010.0	1015.6	1021.1	1026.7	1032.2
1900° F.	1037.8	1043.3	1048.9	1054.4	1060.0	1065.6	1071.1	1076.7	1082.2	1087.8
	0° F.	100° F.	200° F.	300° F.	400° F.	500° F.	600° F.	700° F.	800° F.	900° F.
2000° F.	1093.3°C.	1148.9°C.	1204.4°C.	1260.0°C.	1315.6°C.	1371.1°C.	1426.7°C.	1482.2°C.	1537.8°C.	1593.3°C.
3000° F.	1648.9	1704.4	1760.0	1815.6	1871.1	1926.7	1982.2	2037.8	2093.3	2148.9
4000° F.	2204.4	2260.0	2315.6	2371.1	2426.7	2482.2	2537.8	2593.3	2648.9	2704.4
5000° F.	2760.0	2815.6	2871.1	2926.7	2982.2	3037.8	3093.3	3148.9	3204.4	3260.0
6000° F.	3315.6	3371.1	3426.7	3482.2	3537.8	3593.3	3648.9	3704.4	3760.0	3815.6

### الفروقات

Differences

1° F.	0.56°C.
2° F.	1.11°C.
3° F.	1.67°C.
4° F.	2.22°C.
5° F.	2.78°C.
6° F.	3.33°C.
7° F.	3.89°C.
8° F.	4.44°C.
9° F.	5.00°C.

### الفهرنهايتية الى المئويه

لفروقات 10 ، 20 ، 30 ° F .....

تضرب القيمة المعطاة بعشره .

أمثله لتحويل ° F الى مئويه ° C :

$$-126^{\circ}\text{F} = -120 - 6^{\circ}\text{F}$$

$$= -84.44 - 3.33^{\circ}\text{C} = -87.8^{\circ}\text{C}$$

$$452^{\circ}\text{F} = 450 + 2^{\circ}\text{F}$$

$$232.2 + 1.11^{\circ}\text{C} = 233.3^{\circ}\text{C}$$

$$2870^{\circ}\text{F} = 2800 + 70^{\circ}\text{F}$$

$$1537.8 + 38.9^{\circ}\text{C} = 1576.7^{\circ}\text{C}$$

جدول تحويل درجات الحرارة الفهرنهايتية الى درجات مئويه (سليسيوس).

## المئوية الى فهرنهايت

B : Centigrade to Fahrenheit

	- 0° C.	- 10° C.	- 20° C.	- 30° C.	- 40° C.	- 50° C.	- 60° C.	- 70° C.	- 80° C.	- 90° C.
- 200° C.	- 328° F.	- 346° F.	- 364° F.	- 382° F.	- 400° F.	- 418° F.	- 436° F.	- 454° F.	- 472° F.	- 490° F.
- 100° C.	- 148	- 166	- 184	- 202	- 220	- 238	- 256	- 274	- 292	- 310
0° C.	+ 32	+ 14	- 4	- 22	- 40	- 58	- 76	- 94	- 112	- 130
	0° C.	10° C.	20° C.	30° C.	40° C.	50° C.	60° C.	70° C.	80° C.	90° C.
0° C.	32° F.	50° F.	68° F.	86° F.	104° F.	122° F.	140° F.	158° F.	176° F.	194° F.
100° C.	212	230	248	266	284	302	320	338	356	374
200° C.	392	410	428	446	464	482	500	518	536	554
300° C.	572	590	608	626	644	662	680	698	716	734
400° C.	752	770	788	806	824	842	860	878	896	914
500° C.	932	950	968	986	1004	1022	1040	1058	1076	1094
600° C.	1112	1130	1148	1166	1184	1202	1220	1238	1256	1274
700° C.	1292	1310	1328	1346	1364	1382	1400	1418	1436	1454
800° C.	1472	1490	1508	1526	1544	1562	1580	1598	1616	1634
900° C.	1652	1670	1688	1706	1724	1742	1760	1778	1796	1814
	0° C.	100° C.	200° C.	300° C.	400° C.	500° C.	600° C.	700° C.	800° C.	900° C.
1000° C.	1832° F.	2012° F.	2192° F.	2372° F.	2552° F.	2732° F.	2912° F.	3092° F.	3272° F.	3452° F.
2000° C.	3632	3812	3992	4172	4352	4532	4712	4892	5072	5252
3000° C.	5432	5612	5792	5972	6152	6332	6512	6692	6872	7052

## المئوية الى فهرنهايت

لفروقات 10 و 20 و 30° C..... تضرب

القيمة المعطاة بعشرة .

أمثلة : لتحويل °C الى فهرنهايت °F :-

### الفروقات

Differences

1° C.	1.8° F.
2° C.	3.6° F.
3° C.	5.4° F.
4° C.	7.2° F.
5° C.	9.0° F.
6° C.	10.8° F.
7° C.	12.6° F.
8° C.	14.4° F.
9° C.	16.2° F.

$$\begin{aligned} -156^{\circ}\text{C} &= (-150 - 6)^{\circ}\text{C} \\ &= (-238 - 10.8)^{\circ}\text{F} = -248.8^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 784^{\circ}\text{C} &= (780 + 4)^{\circ}\text{C} \\ &= (1436 + 7.2)^{\circ}\text{F} = 1443.2^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1650^{\circ}\text{C} &= (1600 + 50)^{\circ}\text{C} \\ &= (2912 + 90)^{\circ}\text{F} = 3002^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

جدول تحويل درجات الحرارة المئوية (سليسيوس) الى فهرنهايت.



## Inch and millimetre decimal equivalents of fractions of an inch

Fraction	in.	Decimal	mm	Fraction	in.	Decimal	mm
1/64		0.015 625	0.396 875	33/64		0.515 625	13.096 875
1/32		0.031 250	0.793 750	17/32		0.531 250	13.493 750
3/64		0.046 875	1.190 625	35/64		0.546 875	13.890 625
1/16		0.062 500	1.587 500	9/16		0.562 500	14.287 500
5/64		0.078 125	1.984 375	37/64		0.578 125	14.684 375
3/32		0.093 750	2.381 250	19/32		0.593 750	15.081 250
7/64		0.109 375	2.778 125	39/64		0.609 375	15.478 125
1/8		0.125 000	3.175 000	5/8		0.625 000	15.875 000
9/64		0.140 625	3.571 875	41/64		0.640 625	16.271 875
5/32		0.156 250	3.968 750	21/32		0.656 250	16.668 750
11/64		0.171 875	4.365 625	43/64		0.671 875	17.065 625
3/16		0.187 500	4.762 500	11/16		0.687 500	17.462 500
13/64		0.203 125	5.159 375	45/64		0.703 125	17.859 375
7/32		0.218 750	5.556 250	23/32		0.718 750	18.256 250
15/64		0.234 375	5.953 125	47/64		0.734 375	18.653 125
1/4		0.250 000	6.350 000	3/4		0.750 000	19.050 000
17/64		0.265 625	6.746 875	49/64		0.765 625	19.446 875
9/32		0.281 250	7.143 750	25/32		0.781 250	19.843 750
19/64		0.296 875	7.540 625	51/64		0.796 875	20.240 625
5/16		0.312 500	7.937 500	13/16		0.812 500	20.637 500
21/64		0.328 125	8.334 375	53/64		0.828 125	21.034 375
11/32		0.343 750	8.731 250	27/32		0.843 750	21.431 250
23/64		0.359 375	9.128 125	55/64		0.859 375	21.828 125
3/8		0.375 000	9.525 000	7/8		0.875 000	22.225 000
25/64		0.390 625	9.921 875	57/64		0.890 625	22.621 875
13/32		0.406 250	10.318 750	29/32		0.906 250	23.018 750
27/64		0.421 875	10.715 625	59/64		0.921 875	23.415 625
7/16		0.437 500	11.112 500	15/16		0.937 500	23.812 500
29/64		0.453 125	11.509 375	61/64		0.953 125	24.209 375
15/32		0.468 750	11.906 250	31/32		0.968 750	24.606 250
31/64		0.484 375	12.303 125	63/64		0.984 375	25.003 125
1/2		0.500 000	12.700 000	1		1.000 000	25.400 000

جدول يتضمن تحويل الانج وأجزاءه الى المليمتر (mm)





## المصادر

- 1- ASM, Metals Handbook, 10<sup>th</sup> edition, vol. 6, Welding, Brazing and Soldering, 6<sup>th</sup> Printing, 2003.
- 2- ASM, Metals Handbook, vol.2, Properties and Selection: Non Ferrous Alloys and pure Metals, 5<sup>th</sup> printing, 1998.
- 3- Harry Chandler, Metallurgy for non-Metallurgist, ASM International, 1998.
- 4- AWS, Welding Handbook, vol. 2, 7<sup>th</sup> edition, 1978.
- 5- AWS, Copper and Copper Alloys, 1972.
- 6- D.J. Davies and L.A. Oelman, Metallurgical Processes and Production Technology, Pitman Publisher Ltd. 1985.
- 7- G.W. Rowe, Principle of Industrial Metallworking Processes, Edward Arnold Publisher Ltd. Reprinted 1986.
- 8- Klaue – H. Stenger, Extrusion Process, Machinery, Tooling, ASM, 1981.
- 9- A.J. Tselicove and V.I. Zyuin, Translated from Russian by G. Leib, Modern Development of Rolling Mills, Mir Publisher ,USSR. 1975.
- 10- Eric A. Brands, Smithells Metals Reference book 8<sup>th</sup> edition in Association with Fulmer Research Institute Ltd. Butter worth and Co. Publisher Ltd. 2004.
- 11- DIN Standard for Copper and it's Alloys Composition and Properties, 1983

- 12- The Brasses Technical Data, Copper Development Association, England, TN 26.
- 13- Machining of Copper and it's Alloys, Copper Development Association, England TN3.
- 14- P.T. Gilbert and E.B. Lockyer, The manufacture and use of Copper Alloys Tubes, Presented at a Symposium on "Wrought Copper Materials" Held at Bombay on 8-9<sup>th</sup>, December 1972.
- 15- R.D. Carter and W.H. Stewart, The Extrusion of Copper Alloys for Tube Manufacturing Australian Institute of Metals, Presented at 19<sup>th</sup> Annual Conference Port Kembla, 1966.
- 16- Basic Training Material for Non-Ferrous Metals in the Universities of Europe, 1982-1983.
- 17- J.T.Al-Haidary and A.A.Al-Jamali, "The Influence Of Grain Size on Some Mechanical Properties of  $\alpha$ -Brass (70-30). Eng. and Tech.J. vol. 7, No.3, P.45, 1989.
- 18- Technical Report of Sundwiger – Alloy Sundwiger Messing-werk Division of Messrs-Diehle. Nuvemberg-Germany.
- 19- Copper – Zinc Phase Diagram Chart, Prepared by Struers Scientific Instrument – Denmark.
- 20- Akira Asari Kobe Steel Ltd., Development and Improvement of Extrusion of Non-ferrous Metals, Parts 1 and 2.
- 21- E. Her mann, The Proceeding of 11<sup>th</sup> International Extraction Conference, P.63, 1982.

- 22- المعادن بنيتها و خواصها و معاملاتها الحرارية، د.ج. ديفيز و ل.أ. أويلمان، ترجمة د. جعفر الحيدري و عدنان نعمة، الجامعة التكنولوجية 1989.
- 23- مبادئ هندسة المعادن و المواد، ف. بيلي، ترجمة د.حسين رحمة الله، جامعة الموصل/ العراق، 1982.
- 24- طرق التصنيع و العمليات، د. أحمد الخطيب و خالد أيوب، جامعة الموصل 1981.
- 25- تكنولوجيا الصناعات التعدينية في الوطن العربي، وزارة الثقافة و أعلام/العراق - 1980.
- 26- إستخلاص المعادن اللاحديدية، د.إبراهيم محمود منصور و نوال عزت عبد اللطيف، الجامعة التكنولوجية - بغداد - العراق - 1990.





## المصطلحات العلمية وما يقابلها بالعربية

A	
Acicular	إبري
Age hardening	التصليد بالتعتيق
Aging	تعتيق
Alkaline solution	محاليل قاعدية
Alloying element	عناصر سبكية (سبيكة)
Aluminum brass	براص الالمنيوم
Aluminum bronze	برونز الالمنيوم
American society for metals (ASM)	الجمعية الامريكية للمعادن
American welding society (AWS)	جمعية اللحام الامريكية
Amorphous	لا بلوري
Anisotropy	تباين (الخواص باختلاف الاتجاه)
Annealing	تلدين
Anode	المصعد (القطب الموجب)
Atmospherical exposure	التعرض للجو
Atomic absorption	الامتصاص الذري
Automation	أتمته

B	
Back end defect	عيوب النهايات (في عملية البثق)
Back hand	منجز بحيث تكون فيه راحة اليد مماله بعكس اتجاه حركة اليد
Backing methods	طرائق الاسناد الخلفي (الظهارة)
Back up rolls	المدرفلات السانده
Base metal	المعدن الاساس
Bead	عقدة، درزة
Bearings	مرتكزات
Billet	كتلة مسبوكة من معدن
Bimetal tubes	أنابيب ثنائية المعدن
Blister copper	نحاس منقط
Body centered cubic (bcc)	مكعب متمركز الجسم
Batch	حزمة (من المنتجات او الاجزاء)
Boilers	مراجل
Bolster	حامل أسفل القالب في مكائن البثق والتخريم
Boring machine	ماكينة توسيع الثقوب
Brass	براص، نحاس أصفر

Brazing	التبريص
Braze welding	لحام المونه
Brittleness	هشاشية
Bronze	برونز
Burnished area	منطقه لماعه (صقيه)
Bus bar	قضيب موصل
Bush	جلبه، نحاس، بطانه معدنيه
Butt welding	لحام تناكبي
Bucket	دلو
C	
Cable	قابلو
Cams	كامات، حذبات
Cantilever	الكابول (دعامه مثبتة من طرف واحد)
Car radiators	مشعات السيارات
Casting	سباكه
Cast iron	حديد الزهر
Casting defects	عيوب سباكه
Carbide tools	عُدد (سكاكين) كاريديه
Carbon steel	فولاذ كاربوني

Cantilever type spring	نوابض من النوع الكابولي
Cartridge brass	براص الخرطيش
Charge	شحنه
Charging materials	مواد شحن
Chattering	إصطكاك، إهتزاز عالي التردد
Chimney stack	مجمع مواسير المداخن
Chip	نحاته، رقاقه، (رايش)
Clad	كساء، غلاف
Cladded metals	معادن مكسيه
Characterization	تشخيص، وصف
Clearance	خلوص
Clips	مشابك (لضم الاوراق الى بعضها)
Coil	ملف، لفافه
Cold drawing	سحب بارد، سحب على البارد
Cold rolling	درفله باردة، درفله على البارد
Cold working = Cold deformation	تشكيل بارد، تشكيل على البارد
Communication	شبكة تلفون (إتصالات)
Compound oils	زيوت مركبه
Concentration	تركيز
Condensation	تكثيف

Condensers	مكثفات
Conductivity	توصيليه، موصلية
Container	حاويه
Container holder	حامل الحاويه
Contamination	تلوث
Continuous casting	السباكه المستمرة
Conveyer	جهاز (حزام) ناقل
Corrosion	تآكل
Corrosion fatigue	كلال تآكلي
Corrosion rate	معدل التآكل
Corrosion resistance	مقاومة التآكل
Corrosive materials	مواد أكاله
Copper	نحاس
Copper- Nickel alloy	سبيكة نحاس - نيكل
Creep	زحف
Cross sectional rolling	درفلة المقاطع
Cutting	قطع
Cutting fluids	سوائل قطع
Cutting tools	سكاكين (عدد) قطع
Cup	فنجان



Cuprous oxide	أوكسيد النحاسوز
Copper Development Association (CDA)	جمعية تطوير النحاس
Crucible	بوتقه
<b>D</b>	
De alloying	نزع مكونات السبيكه
Dealuminification	نزع الالمنيوم
Deep draw	السحب العميق
Defects	عيوب
Deflection	إنحراف، إزاغه
Deformation	تشكيل، تشوه
Desulphurizing	إنتزاع (نزع) الكبريت
Deoxidized arsenical copper	نحاس زرنيخي مختزل
Deoxidizer	عامل (ماده) مختزله
Dezincification	إنتزاع (نزع) الخارصين
Die	قالب
Diaphragms	فتحات القزحيه
Die edge	حافة القالب
Diffusion welding	لحام إنتشاري
Digging in	حفر، نقر

Direct current electrode negative	القطب السالب للتيار المباشر
Direct extrusion	البثق المباشر
Direct heating furnace	فرن ذو تسخين مباشر
Dislocations	إنخلاعات
Dislocation energy	طاقة الانخلاء
Docas clay	تربه قاعديه
Down spot	مصببات (مسبك)
Draw bench	منصة ماكينة السحب
Drawing	سحب
Drawing coefficient	معامل السحب
Drawing force	قوة السحب
Drawing speed	سرعة السحب
Drawing tools	عُد السحب
Drilling	ثقيب
Drills	مثاقب
<b>E</b>	
Earrings	أفراط
Ease of fabrication	سهولة التشكيل
Eddy currents	تيارات دوامه
Edge rolls	مدرفلات طرفيه (موجهه)

Elbow	مرفق، مفصل
Electrode	قطب كهربائي
Electric conductivity	توصيلية كهربائية
Electron beam welding	لحام الحزمة الالكترونيه
Electronic phase	طور الكتروني
Electrolytic	الكتروليتي
Electrolytic tough pitch copper	نحاس نقي متين الكتروليتي
Elongation	إستطاله
Embedded scales	قشور مطموره (مغروسه)
Embrittment	هشاشه
Emulsion	مستحلب
E.P. oils (extream pressure oils)	زيوت الضغط العالي
Erosion corrosion	تآكل التعريه
Exposure	تعريض
Extrusion	بثق
Extrusion force	قوة البثق
Extrusion speed	سرعة البثق
Extrusion ratio	نسبة البثق
Extrusion temperature	درجة حرارة البثق

F	
Face centered cubic (fcc)	مكعب متمركز الوجه
Failure	فشل
Feeding rate	معدل التغذية
Filler metals	معادن حشو
Fissures	تشققات ضيقة ومتوازية
Finishing operation	عملية الانهاء (التشطيب)
Fire refined tough pitch copper	نحاس غير كامل الاختزال منقى بالنار
Fire refinery	التنقية بالنار
Fixed plug	السدادة الثابتة
Flash furnace	الفرن الومضى (المتوهج)
Flaw	خلل، عيب
Floating plug	السدادة العائمة
Forming	تشكيل
Four high rolling mill	ماكينة درفلة رباعية المدرفلات
Free cutting	تشغيل ممتاز
Fretting wear	بلى الفك
Fluidity	سيولة
Fluxes	مواد صهورة (مساعدته على الصهر)

Forehand	منجز على نحو تكون فيه راحة اليد مماله باتجاه حركة اليد
Fracture	كسر
Friction welding	لحام احتكاكي
Furnace	فرن
<b>G</b>	
Galvanic Corrosion	تآكل كلفاني
Gasket	حشية
Gap	فجوة، فاصله
Gas Metal Arc Welding (GMAW)	لحام القوس المعدني الغازي
Gasoline	نفت ابيض، كازولين
Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	لحام قوس التنكستن الغازي
Gears	تروس، مستنات
Grain	حببيه، بلوره
Grain Growth	نمو حبيبي، نمو بلوري
Grain Boundaries	حدود بلوريه
Graphite	كرافيت
Graphite Grease	شحمة كرافيتي
Grinding	تنعيم
Gear Box	صندوق تروس
Grain Size	مقاس حبيبي
General Thining	ترقيق عام



Grooved Rollers	مدرفلات محززه
Grooved Rolling	درفله باستخدام مدرفلات محززه
H	
Hardness	صلاده
Heat exchanger tubes	أنابيب المبادلات الحراريه
Helix angle	زاوية الحلزونه
Hexagonal close packed	سداسي متراص (مكتظ)
High frequency current	تيار عالي التردد
High sulphied soil	تربه كبريتيديه
Hot cracking	التشقق الحار
Hot shortness	هشاشية درجات الحرارة العاليه، هشاشيه حاره
Hot drawing	سحب على الحار، سحب حار
Holder	ماسكات، حاملات
Homogenizing	تجانس
Horizontal convertors	المحولات الافقيه
Horizontal continuous casting	السباكه المستمره الافقيه
Hot dipping	الغطس الحار
Hot rolling	الدرفله الحاره، الدرفله على الحار
Hot working	التشكيل الحار، التشكيل على الحار
Hydrostatic	الهيدروستاتي
Hydrogen imbrittlement	هشاشية الهيدروجين

Hydromechanical screw down	لولب تصغير المقطع الهيدروميكانيكي
Heat treatment	معامله، او معالجه حراريه
I	
Impact extrusion	البثق الصدمي
Impingement corrosion	التآكل الارتطامي
Impurities	شوائب
Indirect extrusion	بثق غير مباشر
Induction coil	ملف الحث
Induction loop furnaces	أفران حلقيه حثيه
Inclusions	إكتنافات، متضمنات
Intercrystalline corrosion	تآكل بين البلورات
Intermediat annealing	تلدين وسطي
Intermediat rolls	مدرفلات وسطيه
Intermetallic compounds	مركبات معدنيه
International Anneald Copper Standard (IACS)	النحاس الملدن القياسي العالمي وتكون توصيلته الكهربائيه مساويه 100 (IACS)%
J	
Joining	وصل
Joint	وصله
L	
Lap joint	وصله متراكبه

Lathe machine	مخرطه
Leaching	النض (الغسل بالحامض)
Leaded brass	براص الرصاص
Lining	بطانه، تبطين
Longitudinal rolling	درفله طوليه
Low zing brass	براص منخفض الخارصين
Lubrication	تزييت
<b>M</b>	
Machinability	قابلية التشغيل، التشغيليه
Machining	تشغيل
Machining by form tools	تشغيل بعداد (سكاكين) التشكيل
Macrostructure	بنيه عيانيه ( ترى بالعين المجرده)
Magnetic permeability	السماحيه (المنفذيه) المغناطيسييه
Main cylinder	الاسطوانه الرئيسيه
Mandrel	قلب التشكيل
Mass production	إنتاج كمى
Master alloy	سبيكه رئيسيه، سبيكه أساسيه
Matte	مصهور كبريتيدي
Mechanical screw down	لولب تصغير مقطع ميكانيكى
Mechanized applications	تطبيقات ممكنه
Melting	صهر
Metal	معدن، فلز

Metal withdraw rate	معدل سحب المعدن
Microcracking	التشقق الدقيق
Micro duplex hardening	تصليد دقيق مزدوج
Mild steel	فولاذ مطيل
Milling	تفريز
Mineral oils	زيوت معدنية
Modulus of rigidity	معيار الجسوء
Mould	قالب سباكه
Muntz metal	معدن مونترز (براص 40-60)
N	
Non corrosive materials	مواد غير أكاله
Nugget	نقطه (منطقه) اللحام النقطة
O	
Ordinary tough pitch copper	نحاس نقي متين إعتيادي
Optical emission	إنبعاث ضوئي
Optimal gap	الخلوص الامثل
Orange peel	قشره البرتقال
Order hardening	التصليد المنتظم
Out-of-position welding	لحام خارج الموضع (المكان)
Oxycetylen welding	لحام بلهب الاوكسي أستلين
Oxide	أوكسيد
Oxidizing solution	محلول مؤكسد

Oxygen containing copper	نحاس حاوي على الاوكسجين
Oxygen free copper	نحاس خالي الاوكسجين
Oxygen free high conductivity copper	نحاس عالي التوصيله خالي من الاوكسجين
<b>P</b>	
Part per million(ppm)	جزء من المليون
Passes	تمريرات
Permeability	السماحيه، المنفذيه
Phase	طور
Phosphorus deoxidized copper	نحاس فسفوري مختزل
Pickling	غسل كيميائي (حامضي)
Pipes	مواسير
Piston	مكبس، كباس
Pitting	تنقر
Plasticity	لدونه
Planetary rolling mill	ماكنه درفله كوكبيه
Plate	لوح، لوحه
Plasma Arc Welding	لحام قوس البلازما
Plating	طلاء
Pneumatic pressure	ضغط هوائي
Polishing	صقل
Polyhedral $\alpha$ - structure	بنية الفا متعددة السطوح



Poorly aerated soil	تربه رديئة التهويه
Porosity	مساميه
Precipitation hardening	التصليد بالترييب
Preferred orientation	إتجاه بلوري تفضيلي
Preheating	تسخين مسبق
Pressure medium	وسط ضغط
Pressure platen	إسطوانه ضغط
Product defects	عيوب المنتجات
Proof stress	إجهاد الصمود
Propellers	دفاعات السفن
Pull block	ماكنه سحب أنابيب وأسلاك
Pump	مضخه
Punch	اداة تخريم، سنك
Punching	تخريم
Punching force	قوة التخريم
Punching speed	سرعة التخريم
Pusher	دفاع، دافع
Push rolls	مدرفلات الدفع
Pyrometallurgy	الميتالورجيا الحراريه
Q	
Quenching	إخماد
Quench hardening	التصليد بالاخماد

Quality	نوعي
Quench cracking	تشقق الاخماد
R	
Radiators	مشعات
Rake angle	زاوية الجرف لعدد (سكاكين) القطع
Ram	ذراع الكبس
Readily machinable	سهل التشغيل
Reagent	محاليل مظهره (كاشفه)
Reaming	توسيع الثقوب
Reciprocating steam engine	المكائن البخاريه الهزازة
Reduction	تخفيض، إختزال
Reducing flame	لهب مختزل
Resin based material	ماده ذات أساس راتينجي
Reverberatory furnace	الفرن العاكس
Reverberatory roof	السقف العاكس
Ring insert	وليجه (حشيه) حلقية
Rolling load	حمل الدرفله
Rivet	برشام
Root face	وجه جذر
Rolls	مدرفلات، درافيل
Root openings	فتحات جذر

S	
Sacrificial anode	مصعد (أنود) التضحية
Sanitary system	نظام صحي
Scarf butt joint	وصل تناكبي قراني
Scored die	قالب مخدوش
Scrap	خرده (سكراب)
Seam	ثنيه، ندبه، درزه
Seam welding	لحام الدرز (مستمر)
Season cracking	التشققات الآنيه (الفصليه)
Secondary cooling	التبريد الثانوي
Selenium	معدن السليسيوم
Semicontinuous casting	السباكه شبه المستمره
Shear stress	إجهاد قصي
Sheet	صحيفه
Shaped tubes	أنابيب مشكله
Shear cylinder	إسطوانه قطع (قص)
Shield gases	غازات تغليف (حمایه)
Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	لحام قوس المعدن المغلف (المحجوب)
Silver	فضه
Single phase	طور إحدادي
Single pointed tools	عُدد (سكاكين) إحدايه النقطه
Slab	بلاطه

Slag	خبث
Slivers	شظايا
Soft	لين
Softening	تليين
Soil	تربه
Solidification	تصلب
Solid state oscillator	مذبذب الحاله الصلبه
Seal	سداد محكم
Solid solution	محلول جامد
Soluble oils	زيوت ذائبه
Soundness	تماميه
Spark resistance	مقاومة الشراره
Spectrometer	مطياف
Spot welding	لحام النقطه
Spray transfer	تحول (انتقال) رذاذي
Static casting	سباكه مستقره (ثابته)
Stainless steel	فولاذ مقاوم للصدأ
Steel	فولاذ
Spinodal decomposition hardening	تصليد بالتحلل المغزلي
Straightening	تعديل
Straight flute drills	مثاقب مسطحه
Strain	إنفعال

Stress	إجهاد
Stress corrosion cracking	تشقق التآكل الاجهادي
Strength	مقاومه
Stress relieving	إزالة الاجهادات
Stress rupture	تمزق إجهادي
Strengthening	تقويه
Structure	بنيه، تركيب
Structure of binary brass	بنيه البراص المزدوج
Submerged arc welding (SAM)	لحام القوس المغمور
Surface profile	جانبية السطح
Surface tension	الشذ السطحي
Surface cracking	تشقق سطحي
Surface finish	إنهاء سطحي
Synthetic cutting fluids	زيوت قطع صناعيه
Swarfs	رقائق معدنيه
T	
Tack weld	لحام لدغي
Tap hole	فتحة الصب (في الفرن العالي)
Tapered mandrel	قلب تشكيل مستدق
Tapping	تشغيل المستنات
Tellurium	عنصر التليريوم
Tempering	مراجعته



Tensile strength	مقاومة شد
Thermal conductivity	توصيله حراريه
Thermal expansion coefficient	معامل التمدد الحراري
Thinning	ترقيق
Toughness	متانه
Tolerance	التفاوت المسموح به، السماح
Thickness	سماكه، سمك
Three high mill	ماكنه درفله ثلاثية المدرفلات
Tin brass	براص القصدير
Tombac	تومباك ( سبيكه نحاس خالصين ( CuZn10
Tough pitch copper	نحاس نقي متين
Torch	مشعل
Transformation hardening	التصليد التحولي
Turbulent flow	جريان مضطرب
Turning	خراطه
Two- high mill	ماكنه درفله ثنائية المدرفلات
Two- phase aluminum bronze	برونز الالمنيوم ثنائي الطور
U	
Unified Numbering System (UNS)	نظام الترقيم الموحد
Units	وحدات

V	
Vacuum furnace	فرن مفرغ من الهواء
Valves	صمامات
Vacancies	فجوات، شغور ذرية
Ventilation	تهويه
Vertical casting	سباكه عموديه
Vertical score	خدوش عموديه
W	
Walking beam furnaces	أفران ذات أذرع
Washers	فلكات ( حلقات مطاطيه او معدنيه لمنع الارتشاح)
Weight loss data	بيانات فقدان الوزن
Welding beads	عقد (درزات) لحام
Welding tource	مشعل لحام
Weldments	ملحومات
Well aerated soil	تربه جيدة التهويه
Widening	زيادة العرض
Wire drawing	سحب الاسلاك
Work piece	شغله، المشغوله
Working rolls	المدرفلات العامله
Wrinkles	ثنيات، تجعدات

Y	
Yield of production	كفاءة الانتاجيه
Yield strength	مقاومة الخضوع
Young modulus	معيار المرونه
Z	
Zinc	خارصين
Zone	منطقه













# النحاس وسبائكة

انتاجه وبنيته وتطبيقاته

Bibliotheca Alexandrina



1241595



عمان - وسط البلد - مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس: ٩٩٠ ٤٦٢ ٦ ٩٦٢ + ص.ب: ١٨٤٠٣٤ عمان: ١١١١٨ الأردن

e-mail: daralmuotaz@yahoo.com